

**PENERBIT**  
**YAYASAN HUMANIORA**

# **SISTIM STRUKTUR**

## **PADA BANGUNAN BERTINGKAT**



**SYAIFUDDIN ZUHRI**

# **SISTIM STRUKTUR PADA BANGUNAN BERTINGKAT**

Oleh : Syaifuddin Zuhri

Edisi Pertama  
Cetakan Pertama, 2011

Hak Cipta © 2011 pada penulis,  
Hak Cipta dilindungi oleh Undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, secara elektronis maupun mekanis, termasuk memphoto copy, merekam atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit. Isi buku merupakan tanggung jawab penulis.

**Penerbit :**

**Yayasan Humaniora**

Jl. Melati gang Apel No. 6  
Klaten 57412

E-mail : humaniorapenerbit@yahoo.co.id

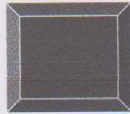
Zuhri, Syaifuddin

SISTIM STRUKTUR PADA BANGUNAN BERTINGKAT /  
Syaifuddin Zuhri  
- Edisi Pertama-Klaten; Yayasan Humaniora, 2011  
x + 94 hlm, 1 Jil. : 23 cm

ISBN : 978-979-3327-77-8

1. ARSITEKTUR

I. Judul



## KATA DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
<b>BAB 1    PENGANTAR</b>	1
1.1.    Pendahuluan	1
1.2.    Fungsi Struktur dalam Arsitektur	6
1.3.    Konsepsi Dasar Struktur	7
1.4.    Perkembangan Sistem Struktur	8
1.5.    Prinsip Dasar Struktur	9
<b>BAB 2    BEBAN PADA BANGUNAN</b>	13
2.1.    Beban pada Bangunan	13
2.2.    Perilaku Struktur pada Bangunan	19
2.3.    Pendekatan Teknologi	21
<b>BAB 3    KOMPONEN DASAR STRUKTUR</b>	25
3.1.    Struktur	25
3.2.    Elemen Struktur	26
<b>BAB 4    STRUKTUR MATERIAL</b>	31
4.1.    Material Beton	32
4.2.    Beton Bertulang	36
4.3.    Material Baja	37
4.5.    Kekuatan Tinggi	39
4.5.    Daktilitas	40
4.6.    Ukuran Elemen	42
4.7.    Struktur Balok	43

4.8.	Girder Plat	44
4.9.	Konstruksi Komposit	45
4.10.	Rangka Batang dan Sambungan Batang Terbuka	46
4.11.	Struktur Pelengkung	47
4.12.	Struktur Cangkang	47
4.13.	Struktur Kabel	47
<b>BAB 5</b>	<b>STRUKTUR CORE (INTI BANGUNAN)</b>	49
5.1.	Struktur Core	49
5.2.	Posisi Sistem Core	51
5.3.	Bentuk Denah Inti Bangunan	55
<b>BAB 6</b>	<b>STRUKTUR RANGKA (SKELETON)</b>	31
6.1.	Bentuk Struktur Rangka	59
6.2.	Bahan-Bahan Pada Struktur	60
6.3.	Tampak Bangunan Dengan Struktur Skeleton	61
<b>BAB 7</b>	<b>STRUKTUR SHEAR WALL DAN BEARING WALL</b>	69
7.1.	Struktur Dinding Pemikul ( Bearing Wall )	69
7.2.	Struktur Dinding Geser ( Shear Wall )	72
<b>BAB 8</b>	<b>STRUKTUR CANTILEVER</b>	77
8.1.	Struktur Cantilever	77
8.2.	Gaya pada Cantilever	78
8.3.	Gaya Dalam pada Kantilever dengan Beban Terbagi Merata	79
8.4.	Gaya Dalam pada Kantilever dengan Beban Momen	80
<b>BAB 9</b>	<b>STRUKTUR BRACING (ELEMEN DIAGONAL)</b>	83
9.1.	Elemen Diagonal	83
<b>BAB 10</b>	<b>STRUKTUR TABUNG ( TUBE-AND-TUBE )</b>	87
10.1.	Perkembangan Struktur Tabung	87
10.2.	Sistem Struktur Majemuk	89
	DAFTAR PUSTAKA	91
	TENTANG PENULIS	93





## SISTIM STRUKTUR PADA BANGUNAN BERTINGKAT

Secara umum bangunan tinggi selain dapat mengantisipasi kondisi lingkungan seperti perbedaan suhu, tekanan udara, dan kelembaban pada bagian kulit, bangunan tinggi juga harus dapat menghadapi gaya vertikal/gravitasi dan horizontal berupa angin dan gempa. Beban yang terjadi pada bangunan harus diserap dan diteruskan dengan aman ke tanah dengan usaha seminimal mungkin. Untuk itu, susunan struktur bangunan tinggi haruslah difungsikan sebagai satu kesatuan dari elemen - elemen struktur yang di gabung.

Materi Pembahasan dalam buku ini adalah :

- Pengantar
- Struktur Rangka
- Beban Pada Bangunan
- Struktur Shear Wall Dan Bearing Wall
- Komponen Dasar Struktur
- Struktur Cantilever
- Struktur Material
- Struktur Bracing
- Struktur Core
- Struktur Tabung



Syaifuddin Zuhri, Ir. MT. Lahir tahun 1962 di Sidoarjo. Memperoleh Pendidikan program sarjana S1 di Jurusan Arsitektur ITS Surabaya tahun 1990. Dan memperoleh beasiswa BPPS Dikti untuk program Pasca Sarjana dan memperoleh gelar Sarjana S2 di Program Manajemen Konstruksi ITS Surabaya tahun 2001. Sampai saat ini masih mengajar di UPN "Veteran" Jawa Timur pada Program Studi Arsitektur sejak tahun 1993.

ISBN : 978-979-3327-77-8

**PENERBIT**  
**YAYASAN HUMANIORA**

Jl. Melati Gg. Apel No.6  
Klaten 57412

email : humaniorapenerbit@yahoo.co.id

### **1.1. Pendahuluan**

Posisi Indonesia terletak di daerah pertemuan lempeng tektonik yang aktif dan bergerak diantara tiga lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Circum-Pacific. Dalam kasus Indonesia, lempeng-lempeng ini akan bergerak saling bertumbukan dan bergesekan yang mengakibatkan energi potensial seiring dengan regangan dan geseran tersebut. Fenomena gejala ini akan menghasilkan suatu getaran atau gerakan dalam tanah yang biasa disebut sebagai gempa.

Hal ini berakibat pada falsafah disain yang digunakan di Indonesia, akibat gempa kecil atau sedang, struktur bangunan dijamin tidak rusak, sedangkan gempa kuat yang jarang terjadi, struktur harus dijamin tidak roboh, walau diijinkan mengalami kerusakan yang direncanakan. Perlu dilakukan pendekatan struktur konstruksi yang mengantisipasi kinerja atau kerusakan struktur bangunan sesuai tingkat intensitas gempa yang dikenal sebagai konsep "disain berbasis kinerja" (Performance Based Seismic Design).

Konsep disain kinerja menetapkan suatu tingkatan kinerja struktur bangunan (multiple performance objective levels). SEAOC Vision 2000 membagi 4 (empat) level kinerja gempa, yaitu frequent, occasional, rare, dan very rare. Dan 4 (empat) tingkatan kinerja struktur, yaitu fully operasional, operasional, life safe, dan near collapse yang berkorelasi dengan berbagai intensitas gempa rencana.

Bangunan bertingkat sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya untuk hunian, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya ataupun kegiatan khusus lainnya dan diklasifikasikan, sebagai bangunan rendah (low rise building), bangunan menengah (middle

rise building), dan bangunan tinggi (high rise building). Bangunan bertingkat diukur dengan jumlah lantai 8 lantai, jumlah ini dianggap sebagai dasar jumlah penghuni yang sudah besar (padat) dan jumlah asset bangunan yang besar dengan dampak lingkungan yang tinggi selama under construction dan building operation.

Rancangan arsitektur mempunyai keunikan dan ciri arsitektural dan merupakan karya yang merupakan jawaban permasalahan dari faktor manusia, persyaratan bangunan atau lingkungan, atau diterjemahkan sebagai aspek arsitektural, aspek struktur dan mekanikal elektrik (sistem utilitas bangunan). Gagasan dasar muncul dari kreatifitas perancang, baik dalam bentuk intuisi (black box) atau bentuk pemrograman (glass box) sesuai dengan pendekatan dalam rumusan konsep sistem bangunan.

Disain arsitektur yang utuh memperhatikan kegunaan (function), kekuatan, dan estetika (Vitruvius). Struktur merupakan bagian integral dalam arsitektur, dalam "Structure in Architecture" (Salvadory, 1968) dijelaskan bahwa struktur merupakan bagian yang esensial dan prioritas utama dalam disain. Dengan pola peruntukan lahan yang mulai berubah, pembentukan kawasan komersial yang bersifat campuran mulai tumbuh berkembang dengan pesat.

Pola perencanaan yang secara tradisional bersifat "mono uses" didalam konsep pengembangan linier (koridor) mulai berkembang menjadi konsep super blok dengan pola penggunaan bangunan yang bersifat "multi uses" yang terpadu secara kompak, dimana bangunan tinggi (high rise building) merupakan komponen sentral yang tidak terpisahkan. Maka pedoman untuk perencanaan dan perancangan bangunan super blok dan bangunan tinggi perlu landasan filosofis yang kuat.

Pakar arsitektur Perancis, Le Corbusier meramalkan, bahwa *"pada suatu waktu akan ada satu arsitektur untuk semua bangsa dan*

*iklim*". Melihat perkembangan arsitektur di Indonesia saat ini, khususnya Jakarta dan Surabaya, gaya citranya mulai mendunia seperti halnya perkembangan arsitektur pada kota-kota metropolitan dunia lainnya.

Globalisasi sistim ekonomi dan kecanggihan teknologi telah membuat homogenitas dari sistim tata nilai yang bersifat universal. Investasi modal asing maupun lokal yang semakin besar di bidang rekayasa arsitektur membawa serta "resep-resep" universalnya untuk memecahkan berbagai bentuk permasalahan arsitektur di Indonesia.

Konsep arsitektur bangunan tinggi bersifat universal tersebut diterapkan seperti apa adanya, yang mengabaikan dimensi sosial budaya dan iklim setempat. Sehingga masing-masing gedung berdiri sendiri dengan angkuhnya tanpa menghiraukan kiri-kanan dan tanpa kaitan fungsional yang jelas antara satu dengan yang lainnya.

Kenyataan ini merupakan masalah yang harus diperhatikan bagi para perancang bangunan. Bahwa arsitektur harus dilihat sebagai suatu potensi yang secara inovatif dan kreatif dapat dikembangkan untuk terwujudnya jati diri yang sebenarnya. Arsitektur merupakan manifestasi fisik dari organisasi sosial masyarakat pemakainya, sehingga arsitektur jangan dilihat sebagai "*obyek fisik*" saja, kita harus melihatnya sebagai "*obyek budaya*" yang penuh dengan dinamikanya. Akhirnya suatu landasan filosofis yang kuat untuk dapat menciptakan lingkungan arsitektur yang adaptif terhadap kondisi sosial-budaya yang membedakan arsitektur jakarta dan surabaya.

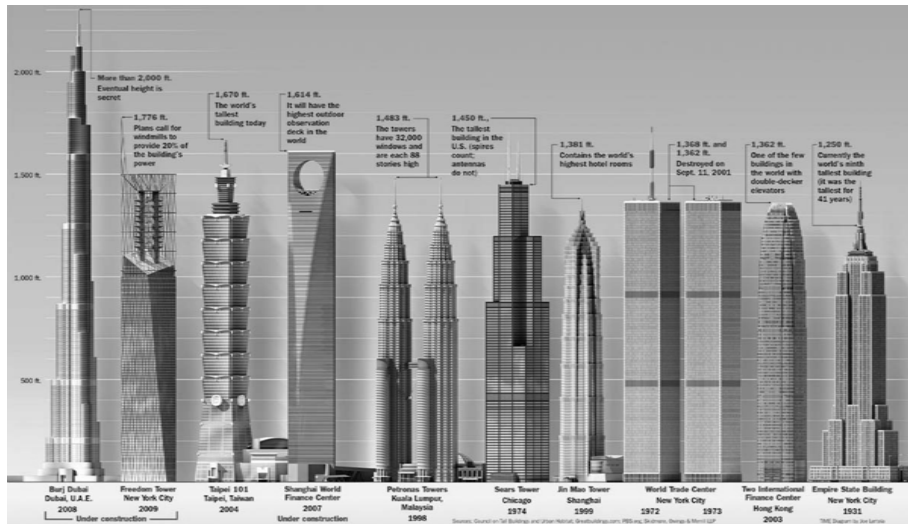
Benturan unsur modern dan agraris ini secara spatial harus dapat diakomodasikan dengan baik dalam ruang-ruang (arsitektur) yang kondusif terhadap proses perubahan. Pada proses modernisasi yang terjadi di negara maju, tejadi proses transformasi budaya yang berlangsung secara berurutan (sekuensial), sedang di Indonesia,



proses terjadinya transformasi budaya terjadi masyarakat agraris menuju masyarakat industri dan berlangsung secara serentak, sehingga perkembangan arsitektur akomodatif di Indonesia terhadap terhadap kondisi tersebut.

Studi tentang struktur dalam hubungannya dengan bangunan, tidak hanya tentang ruang dan ukuran, tetapi juga menyangkut tentang skala, bentuk, proporsi dan morfologi. Struktur merupakan suatu entitas fisik yang memiliki sifat keseluruhan yang dipahami sebagai suatu organisasi unsur-unsur pokok yang ditempatkan dalam ruang yang didalamnya karakter keseluruhan itu mendominasi interelasi bagian-bagiannya.

Sejalan dengan perkembangan peradaban kehidupan manusia sampai dengan revolusi di bidang industri, teknologi dan ilmu pengetahuan, struktur arsitektur berkembang pula secara kuantitatif dan kualitatif seperti dari segi "fungsi" walaupun tidak sebanyak perkembangan dari segi teknologi dan bahan(material), yang terus diusahakan dengan menelaah batasan-batasan yang ada sampai sekarang. Terbatasnya ruang yang dapat dipergunakan akibat konsentrasi manusia diperkotaan mendorong munculnya teknologi struktur bangunan vertikal dan bertingkat tinggi baik keatas lantai dasar dan kebawah tanah yang sering disebut dengan istilah bangunan "pencakar langit".



Gambar 1. Bangunan Bertingkat Masa Kini

Pada awalnya kemunculan gedung atau bangunan bertingkat tinggi ini menimbulkan satu fenomena yang akhirnya dapat diterima masyarakat selama masih dalam batasan-batasan yang ada terutama batasan ekonomis. Selain itu, diperlukan pula pertimbangan perancang bangunan bertingkat tinggi ini terhadap ruang perilaku, seperti keterpencilan, ketiadaan kontak antar manusia dalam bangunan dan ketiadaan kontak dengan kehidupan diluar bangunan seperti jalan dan sebagainya. Untuk itu diperlukan bantuan dari lembaga - lembaga pendidikan untuk menyelidiki dan menelitinya sehingga dapat memperbaiki kondisi tersebut diatas.

## 1.2. Fungsi Struktur dalam Arsitektur

Hubungan struktur konstruksi dengan arsitektur dibedakan menjadi 2 (dua) yakni :

1. Sebagai elemen untuk mewujudkan rancangan dan hanya berfungsi sebagai elemen untuk meneruskan beban;

2. Sebagai struktur yang ter-integrasi dengan fungsi dan bentuk.

Sebagai elemen rancangan, elemen struktur berfungsi mempertegas dan memperkuat keberadaan ruang, dimana aktifitas berlangsung, sedang elemen struktur sebagai elemen untuk meneruskan beban adalah untuk mempertegas kekuatan dan kekokohan bangunan untuk mendukung eksistensi bangunan.

Dalam proses perancangan ada beberapa tahapan yang perlu diperhatikan untuk membentuk arsitektur, yakni :

1. Perlu wawasan dan pemahaman terhadap keterkaitan yang erat antara struktur dan arsitektur;
2. Juga pemahaman terhadap perilaku struktur, stabilitasnya dan metode konstruksi yang dilakukan;
3. Melakukan pemodelan pada struktur untuk melihat kemungkinan-kemungkinan perilaku struktur sesuai metode-metode struktur yang dipakai;
4. Pengenalan terhadap material, struktur dan metode konstruksi yang benar untuk mendapatkan properti material secara baik;
5. Melakukan pemahaman secara holistik (terpadu) terhadap sistem struktur, konstruksi dan material/bahan dengan prinsip-prinsip perancangan, konsep struktur, pengetahuan iklim, sosial budaya dan lainnya yang menunjang ide desain.

### **1.3. Konsepsi Dasar Struktur**

Konsep "*Performance-Based Seismic Design*" merupakan pendekatan rancangan bangunan yang berfokus pada disain seismik, dimana struktur bangunan dikaji dengan mengevaluasi kinerja dan kriteria batas untuk setiap kinerja gempa terhadap struktur bangunan. Klasifikasi kinerja gempa berdasarkan ATC-40 (Applied Technology Council) yang pendekatannya terhadap karakteristik

gempa yang terjadi, seperti the service-ability earthquake, the design earthquake dan the maximum earthquake.

The service-ability earthquake merupakan gempa dengan periode ulang sekitar 75 tahun dan intensitas 50% akan terlampaui selama waktu 50 tahun.

The design earthquake mempunyai karakteristik dengan periode berulang rata-rata 500 tahun dan secara probabilistik akan terulang pada masa 50 tahun sesudahnya.

The maximum earthquake sebagai gempa terkuat dengan perkiraan periode ulang sekitar 1000 tahun dengan probabilitas 5% terlampaui selama 50 tahun.

Keterkaitan struktur dengan bentuk lebih banyak membahas pengaruh beban statis. Gempa yang merupakan beban dinamis membawa dampak yang tidak sama dengan beban statis. Konfigurasi bangunan, yaitu bentuk, ukuran massa bangunan, sifat, ukuran dan tata letak elemen-elemen struktural, serta sifat, ukuran dan tata letak elemen-elemen non-struktural, ternyata sangat berpengaruh terhadap respon ("perilaku") bangunan yang pada akhirnya akan sangat menentukan besarnya gaya-gaya pada tiap komponen struktural. Konfigurasi bangunan dihasilkan oleh arsitek, yang sangat menentukan perilaku struktur, dan punya potensi besar untuk mengembangkan "potensi estetis" dalam "seismic design".

*Glasser* dan *Howard*, menekankan bahwa estetika melalui tampilan struktur dapat digali melalui mekanika gaya (akibat beban statis). Dalam *seismic design*, konfigurasi sangat dipengaruhi "kepekaan estetik" arsitek. Oleh karena itu, penggunaan konfigurasi bangunan sebagai interpretasi baru dari mekanika gaya-nya *Howard*, dalam menentukan "faktor penentu bentuk".

#### **1.4. Perkembangan Sistim Struktur**

Sebelum abad 19, pembangunan bangunan bertingkat tinggi dimulai dengan kuil-kuil dipegunungan, piramid, amphitheaters, balai kota, mesjid, gereja dll, yang dimotivasi oleh unsur politis dan keagamaan, sebagai simbol kekuasaan dan kepercayaan. Material yang digunakan diawah dengan pemakaian teknologi baru alam dan kayu, dan di kombinasikan dengan elemen atau sistem struktur vault, arches, dan konsep balok kolom.

Pada abad 19 dengan adanya pertimbangan dari segi teknis, penggunaan sistem struktur dinding pendukung untuk bangunan tinggi mulai dilakukan pada Monadnock Building, 16 lantai, 1891, Chicago, dengan sistem konvensional (pada bagian base lebar dinding  $\pm 2m$ , dan semakin keatas semakin kecil dan pada 1855, rangka besi mulai dikembangkan menjadi sebuah sistem konstruksi (Revolusi Indusri). Sebagai ekspresi dari lightness dan strength dari sebuah material konstruksi, konstruksi rangka ini mulai populer dan berkembang menjadi sistem konstruksi rangka baja. Komponen teknis yang sangat esensial pada bangunan tinggi pada saat itu adalah :

- Struktur, menggunakan rangka baja, dengan kemampuan untuk stabil dari gaya lateral,
- Keamanan, untuk ketahanan terhadap bahaya kebakaran,
- Sirkulasi vertikal (lift/elevators),
- Mekanis dan sanitasi, terdiri dari plumbing, pemanas sentral, pencahayaan buatan, dan ventilasi (AC atau pengkondisian udara pada 1920-an).



### **1.5. Prinsip Dasar Struktur**

Ekspresi bentuk arsitektur dengan pendekatan aspek struktur akan memberikan cerminan kekuatan, keseimbangan dan kestabilan struktur.

#### **a. Kekuatan**

Kekuatan merupakan kemampuan elemen dan komponen struktur bangunan yang bekerja secara vertikal ataupun horizontal bangunan dalam menahan beban-beban yang timbul.

- Komponen struktur vertikal berupa kolom yang fungsinya untuk menahan gaya-gaya vertikal yang dialirkan dan disebarkan menuju sub-struktur dan pada pondasi bangunan.
- Komponen struktur horizontal berupa struktur lantai dan balok (balok utama dan balok anak) sebagai penahan beban mati dan beban hidup yang diteruskan ke kolom.

Struktur yang dibentuk oleh elemen-elemen kaku struktur untuk memikul beban yang bekerja. Dimana untuk membentuk struktur adalah dengan meletakkan elemen-elemen garis (atau gabungan elemen garis) atau sebagai bentuk elemen permukaan atau gabungan keduanya untuk saling berhubungan dengan maksud untuk mendukung beban.

#### **b. Kestabilan**

Kestabilan bangunan merupakan kemampuan bangunan dalam mengatasi gaya-gaya lateral dari luar, seperti angin, gempa ataupun gaya gravitasi bumi. Hal ini dapat tercapai dari ekspresi massa ataupun pembentuk struktur bangunan yang memberikan perilaku struktur yang stabil. Kestabilan lateral sembarang struktur yang mengalami sembarang kondisi pembebanan harus dicapai dengan menggunakan pemikul beban lateral dengan memakai pengekangan lateral di sekeliling denah.

### **c. Keseimbangan**

Keseimbangan merupakan perilaku massa bangunan dalam mengatasi gaya gravitasi bumi dan angin. Dimana perilaku struktur dicapai dengan memberikan bidang-bidang vertikal masif (shear wall atau bearing wall) yang berfungsi untuk meneruskan beban dan membentuk sudut dengan permukaan tanah.

Gerakan atau defleksi yang diakibatkan oleh efek dinamis angin, khususnya bangunan bertingkat, akan mengalami perubahan bentuk akibat perilaku dinamis angin. Membesar dan mengecilnya gaya-gaya ini menyebabkan gedung berosilasi terhadap defleksi rata-rata sesuai arah gaya angin yang besar dan frekwensinya tergantung karakteristik gaya angin dan kekakuan serta distribusi massa gedung itu sendiri.

Prosedur paling aman untuk memodelkan struktur ini adalah dengan susunan pegas (penahan vibrasi) untuk mereduksi respon struktur aktual. Mekanisme peredam ini dipasang pada titik-titik hubung antara balok dan kolom untuk menyerap energi dan meredam gerakan.

### **2.1. Beban pada Bangunan**

Secara umum bangunan tinggi selain dapat mengantisipasi kondisi lingkungan seperti perbedaan suhu, tekanan udara, dan kelembapan pada bagian kulit, bangunan tinggi juga harus dapat menghadapi gaya vertikal/gravitasi dan horizontal berupa angin (diatas tanah) dan gempa (dibawah tanah). Beban yang terjadi pada bangunan harus diserap dan diteruskan dengan aman ke tanah dengan usaha seminimal mungkin. Untuk itu, susunan struktur bangunan tinggi haruslah difungsikan sebagai satu kesatuan dari elemen - elemen struktur yang di gabung.

Beban pada struktur dapat dikelompokkan dalam 2 (dua) bagian, yaitu beban statis dan dinamis. Gaya statis adalah beban yang bekerja secara perlahan-lahan timbul pada struktur dan bersifat steady-state. Statis berarti suatu beban akibat gaya yang cenderung diam, atau bergerak secara perlahan pada struktur, dan dinamis berarti beban akibat gaya yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Beban statis ini bekerja secara vertikal ke bawah pada struktur dengan karakter yang pasti, termasuk berat struktur itu sendiri, alat mekanis dan partisi yang tak dapat dipindahkan, dan lain-lain. Beban dinamis bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu, berpindah atau bergerak secara perlahan seperti manusia, perabot, air hujan, salju dan lain-lain, yang secara khas bekerja secara vertikal ke bawah dan terkadang dapat berarah horizontal. Gaya dinamis adalah gaya yang bekerja secara tiba-tiba dan bersifat berubah-ubah dengan cepat. Beban yang berlaku pada sebuah bangunan adalah biasanya dalam bentuk statik dan

datangnya dari berbagai sumber seperti yang disebutkan diatas tetapi untuk tujuan analisa bentuk dapat dibedakan, antara lain :

- Beban mati (*dead loads*)
- Beban hidup
- Beban konstruksi (*construction loads*)
- Beban angin (*wind loads*)
- Beban seismik (*seismic loads*)
- Beban tekanan air tanah (*ground pressure loads*)
- Kombinasi beban (*combination loads*)

Asumsi untuk menentukan jumlah beban pada lantai bangunan dapat dilakukan dengan menggunakan table Rasio Beban pada Lantai Bangunan seperti dibawah ini.

Tabel 1. Rasio Beban pada Lantai Bangunan

Type of building		Use of floor	Uniformly distributed		Concentrated	
General	Particular		kN/m <sup>2</sup>	lb/ft <sup>2</sup>	kN	lb
Residential premises	Domestic : houses, flats maisonettes, bungalows	All rooms, including bedrooms, kitchens, laundries, etc.	1.5	31.3	1.4	315
	Hotels, motels, hospitals	Bedrooms (including hospital wards)	2.0	41.8	1.8	405
	Boarding houses, hostels, residential clubs, schools, colleges, institutions	Bedrooms (including dormitories)	1.5	31.3	1.8	405
Places of public assembly or access	Public halls, Theatres, cinemas, Assembly areas in clubs, schools, colleges, grandstands, sports halls (indoors)	With fixed seating	4.0	83.6	nil	nil
		Without fixed seating	5.0	104.5	3.6	809
	Dance halls, gymnasia		5.0	104.5	3.6	809
	Drill halls		5.0	104.5	TD 19.0 min.	TD 2,023 min.
	Churches, classrooms	Including chapels, etc.	3.0	62.7	2.7	607
	Library reading rooms	Without book storage	2.5	52.2	4.5	1 011
		With book storage	4.0	83.6		
	Museums, art galleries		TD 4.0 min.	TD 83.6 min.	TD	TD
	Hotels (see also residential)	Bars, vestibules	5.0	104.5	nil	nil
	Banking halls		3.0	62.7		
	Shops	Display and sale	4.0	83.6	3.6	809
Commercial and industrial premises	Offices	General	2.5	52.2	TD	TD
		Filing and storage spaces	5.0	104.5		
		Computer rooms, etc.	3.5	73.1		
	Theatres, cinemas, T.V. and radio studios, etc. (see also places of assembly)	Studios	4.0	83.6	nil	nil
		Stages : in theatres, etc. in colleges and gymnasias	7.5 5.0	157 104.5	4.5 3.6	1,011 809
		Grids	2.5	52.2	nil	nil
		Fly galleries (uniformly distributed over width)	4.8 per m	308 per ft		
		Projection rooms	5.0	104.5		
		Sports halls (indoor) : equipment area	TD 2.0 min.	TD 41.8 min.	TD	TD
	Work places, factories, etc.	Utility rooms, X-ray rooms, operating theatres (hospitals)	2.0	41.8	4.5	1,011
		Laundries	3.0	62.7		
		Residential buildings (excl. domestic)	TD	TD		
		Kitchens (communal) incl. normal equipment	TD 3.0 min.	TD 62.7 min.		
		Laboratories (incl. equipment)	TD 3.0 min.	TD 62.7 min.	TD	TD
		Light workrooms (no storage)	2.5	52.2	1.8	405
		Workshops : light medium heavy	5.0 7.5 10.0	104.5 157 209	TD nil	TD nil
		Foundries	TD 20.0 min.	TD 418 min.	nil	nil
		Printing works (see also Table dealing with storage)	TD 12.5 min.	TD 261 min.	TD	TD
		Machinery halls (circulation spaces)	4.0	83.6	TD	TD

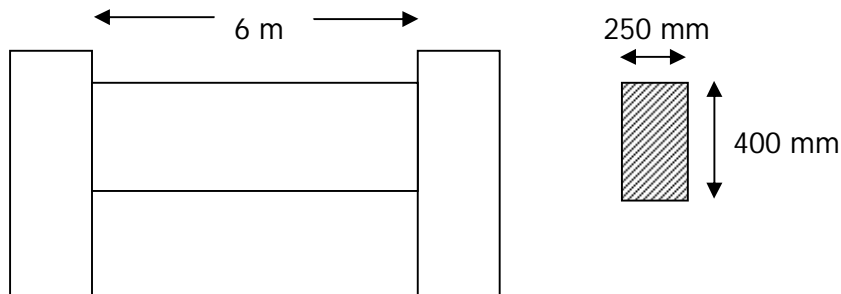


### Beban Mati (*dead loads*)

Beban mati, merupakan gaya statis yang bekerja dari vertikal (atas) kebawah, yang biasanya disebabkan oleh berat (W) sendiri setiap unsur didalam bangunan dan bersifat pasti (fixed). Gaya-gaya yang menghasilkan beban mati terdiri dari berat pendukung beban bangunan, langit-langit, dinding, equipment, dan lain-lain.

Apabila terdapat sebuah balok beton bertulang dengan berat 24 KN/m<sup>3</sup> dan lebar (b) = 250 mm dan ketinggian (h) = 400 mm, maka berat beban sendiri balok beton bertulang (ie. beban mati) yang ditunjukkan dalam gambar adalah :

$$\begin{aligned} &= 24 \times 0.15 \times 0.4 \times 6 \\ &= 2.1 \text{ KN/m atau } 12.5 \text{ KN (jumlah berat)} \end{aligned}$$



Gambar 1. Balok Beton Bertulang

### Beban Hidup

Beban hidup yakni beban yang sifatnya berubah-ubah atau bergerak, seperti manusia, kendaraan, peralatan yang selalu bergerak dan bersifat sementara dan bukan merupakan bagian dari struktur. Beban hidup bekerja secara vertikal, tetapi kadang-kadang secara horizontal.

### **Beban Konstruksi (Construction Loads)**

Beban konstruksi merupakan beban rencana yang dirancang untuk membebani beban mati dan beban hidup, dan biasanya lebih besar dari beban rencana saat bangunan didirikan.

### **Beban Angin**

Beban angin, pada bangunan tinggi dihadapkan pada masalah angin yang menerpa bangunan dimana semakin tinggi bangunan, maka gaya yang ditimbulkan oleh angin semakin bertambah besardan mempengaruhi kekuatan strukturnya.

### **Seismic Loads**

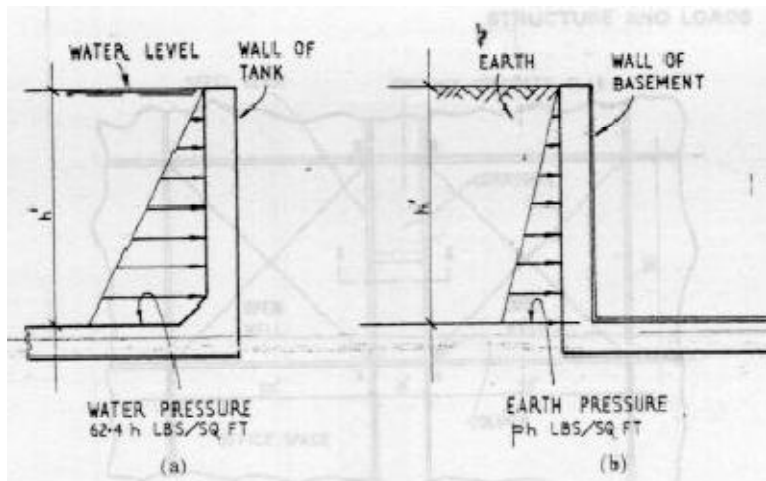
Beban seismik merupakan beban yang bekerja karena persinggungan bangunan (pondasi) dengan tanah, sehingga menyebabkan bangunan mengalami goyangan bolak-balik. Karena massa bangunan yang menahan gerak goyangan atau getaran ini akan menimbulkan gaya momen inersia pada seluruh elemen struktur.

### **Tekanan Air Tanah**

Beban tekanan air tanah, struktur dibawah permukaan tanah cenderung mendapat beban yang berbeda dengan diatas permukaan tanah. Sub struktur bangunan harus memiliki penahan tekanan lateral yang disebabkan oleh tekanan tanah dan air tanah yang bekerja tegak lurus pada dinding dan lantai struktur.

Struktur yang berada dibawah tanah seperti dinding atas bangunan dan dinding penahan juga mengalami tekanan yang disebabkan tekanan dari tanah. Tekanan ini bergantung kepada banyak faktor seperti daya kohesi dan geseran tanah, pengembangan tanah dan penurunan pada bangunan secara tidak merata. Tekanan

vertikal dalam tanah adalah nilai tekanan tanah (diantara 14 – 20 KN/m<sup>3</sup>). Tekanan mendatar dari tanah adalah hanya sebagian daripada nilai tegaknya dan ini bergantung kepada nilai kohesi (C) dan daya geser (F). Sehingga nilai penyusutan tanah boleh diisi dengan komposisi tanah 40% pasir dan 80% tanah liat. Tanpa air tanah, nilai tekanan tanah boleh diasumsikan sebesar 1,2 – 1,68 KN/M<sup>2</sup> setiap meter.



Gambar 2. Prilaku Tekanan Tanah

Jika sebuah struktur adalah dibawah paras air pula , tekanan hidrostatik disebabkan air adalah 2.99 KN/m<sup>2</sup> setiap kaki dalamnya.

## 2.2. Prilaku Struktur pada Bangunan

Konfigurasi bangunan mempengaruhi respon atau prilaku struktur bangunan pada saat digetarkan oleh gempa bumi, akibat bekerjanya gaya-gaya lateral pada bangunan. Penempatan elemen-elemen struktur dan bentuk massa bangunan yang tidak sederhana atau rumit tertentu akan mempengaruhi prilaku bangunan pada saat terkena gaya-gaya yang bekerja padanya.

Hubungan yang erat penyebab struktur berdeformasi akibat pengaruh gaya atau perubahan gaya yang diakibatkan beban-beban. Juga dipengaruhi karakteristik struktur itu sendiri, kaku atau fleksibel, serta pengaruh bahan dan metode konstruksi. Seperti elemen kaku, tidak mengalami perubahan bentuk yang besar dibawah pengaruh gaya atau perubahan gaya yang diakibatkan oleh beban-beban.

Mekanisme torsi terjadi karena eksentrisitas pada denah bangunan, dimana titik pusat massa bangunan tidak berimpit dengan titik pusat kekakuan lateral. Semakin besar eksentrisitas-nya, torsi-nya semakin besar.

Mekanisme kegagalan struktur yang diakibatkan bentukan massa bangunan, bentukan bangunan seperti :

- Soft storey ( $P - \Delta$  effect), kekakuan di massa bagian atas;
- Set back, terbentuknya bagian stage dan tower ;
- Invert set back, penonjolan massa bangunan di bagian atas;
- Short coloum, pemusatan gaya geser pada kolom.

#### **a. Soft storey**

Mekanisme soft storey bisa terjadi apabila kekakuan tingkat dibagian atas jauh lebih besar dari kekakuan tingkat dibawahnya. Sehingga akan terjadi simpangan lateral struktur ( $\Delta$ ) yang sangat besar pada kolom tingkat dibawah, akibatnya gaya normal ( $P$ ) dari kolom atas menjadi eksentris terhadap sumbu kolom dan mengakibatkan momen eksentris yang besar ( $P \times \Delta$ ).

#### **b. Set back**

Bentuk massa ada penonjolan yang ekstrim dibagian bawah, sehingga terbentuk *stage* dan *tower*. Akibat penonjolan stage yang besar, bisa terjadi pemusatan gaya geser yang signifikan pada komponen struktur ditempat pertemuan stage dan tower tersebut.

Pemusatan gaya geser terjadi karena kekakuan struktur bagian stage lebih besar dari bagian tower, sehingga waktu getar kedua bagian tersebut berbeda. Komponen struktur (kolom dan diafragma) ditempat pertemuan mempunyai dua waktu getar yang berbeda akan berusaha menyesuaikan getaran kolomnya dengan kedua waktu getar tersebut, akibatnya terjadi gaya geser horizontal terpusat yang besar.

### **c. Invert set back**

Bentuk massa kebalikan dari set back, dimana penonjolan ada dibagian atas bangunan (tower). Bagian atas sangat berat, titik berat massa jauh dari pondasi, gaya inerti gempa akan menghasilkan momen lentur yang besar pada pendukung vertikal, karena itu bisa terjadi simpangan lateral ( $\Delta$ ) yang besar sehingga massa ( $P$ ) mengalami eksentrisitas sebesar simpangan ( $\Delta$ ) terhadap sumbu elemen pendukung vertikal, semua ini akan mengakibatkan terjadinya momen eksentris yang besar ( $P \times \Delta$ ). Kalau bangunannya berbentuk water tower, maka guncangan air didalam kepala tandonnya akan menambah perilaku dinamis struktur.

### **d. Short coloum**

Mekanisme short coloum adalah mekanisme keruntuhan kolom akibat pemusatan gaya geser pada kolom yang signifikan tanpa terencana sebelumnya. Short coloum biasa dikatakan sebagai "kolom yang diperpendek" artinya kolom yang awalnya dirancang dengan panjang tertentu, "menjadi pendek" karena pemasangan elemen non-struktural yang punya kekakuan cukup signifikan, seperti dinding, tangga, dan lain-lain yang menempel atau diikat pada kolom tersebut sehingga sisa kolom yang "bebas" menjadi pendek. Korelasi antara gaya geser dan momen kolom akibat gaya lateral menjadi



berubah dengan adanya perubahan panjang kolom. Dengan momen yang sama, gaya geser pada kolom yang dipendekkan menjadi lebih besar dibanding gaya geser pada panjang kolom yang asli.

### **2.3. Pendekatan Teknologi**

Mixed Use Development ( M X D Concept) sebagai salah satu konsep pendekatan proses rancang, khususnya pada bangunan tinggi (high-rise building), dimana karakter bentuk dan ruang pada bangunan modern adalah mempunyai "multiple function" dan "simplicity" yang tercakup dalam satu wadah kegiatan yang tunggal dan monolith.

Bangunan modern mempunyai beberapa karakter spesifik, seperti berikut :

- Adanya beberapa fungsi sebagai penghasil pendapatan yang saling mendukung (mall);
- Secara fisik dan fungsional ter-integrasi dalam satu bangunan dengan tingkat intensitas tinggi (*high activity*);
- Menempati lokasi yang strategis dengan tingkat aksesibilitas yang tinggi.

Konsepsi dasar dari bangunan modern adalah membentuk blok tunggal yang mewadahi beberapa jenis kegiatan yang ber-massa tunggal (besar) dan monolith.

Dan pendekatan struktur konstruksi dalam proses perancangan bangunan dilakukan dengan pendekatan perancangan terpadu "integrated design concept" dan cerminan daripada konsepsi ini mempunyai karakter spesifik, seperti mencerminkan :

- Teknologi (High Technology)
- Ekonomi (Energy Conservation)
- Psikologis (New Community)
- Estetika (Sky Crapers)

Pendekatan teknologi pada konsepsi dasar rancang struktur, pada bangunan tinggi akan memberikan cerminan arsitektur, seperti :

- Mencerminkan tingkat high technology construction and materials yang dikuasai;
- Merupakan cerminan dari komunitas baru dari “new community culture and social”;
- Membentuk lingkungan gedung pencakar langit “skycraper”.

Metode lain yang juga digunakan, seperti teorema tiga momen atau teorema Castigliano, juga teorema dengan analogi kolom, metode slope-deflection (lendutan kemiringan) dan metode distribusi momen.

#### **a. Integrasi Sistim bangunan**

Pengetahuan teknologi bangunan dan bahan dapat digunakan sebagai batasan konsep arsitektural tanpa membatasi kreatifitas dalam proses rancangan. Dalam kaitan seni, pengertian rancangan adalah tercapainya keseimbangan antara aspek fungsional, bentuk dan penalaran teknis.

Ketrampilan seni dan penguasaan struktur dalam konsep rancangan yang ter-integrasi, sehingga dalam penyelesaian secara teknis ekonomis akan didapatkan hasil rancangan yang dapat dipertanggung-jawabkan (*technically possible & economically feasible*).

Pengendalian struktur dalam pandangan ekonomis melatar-belakangi pemilihan unit struktur dan fungsional ruang yang benar-benar efektif untuk melingkupi ruang.

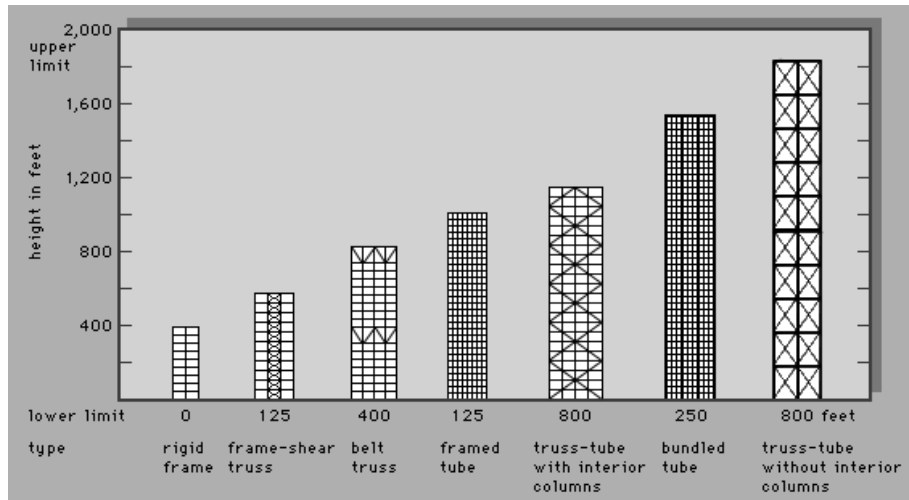
## **b. Teknologi Membangun**

Untuk menampilkan kesan ringan dan pemakaian teknologi canggih (*high-tech*) pada bangunan modern, dapat digunakan bahan yang lentur, transparan, dan berbahan baku metal (logam).

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya teknologi bangunan, teknologi bahan dan teknologi informasi, turut memberi warna dalam karya-karya arsitek. Kemudian dalam menerima dan menyampaikan informasi, manipulasi digital dan visualisasi model tiga dimensi dengan komputer menyebabkan karya-karya arsitektur yang dulu sulit diwujudkan secara manual, kini dapat direalisasikan sesuai kreatifitas arsitek.

Model rancang bangun (*design build*) atau proyek dengan pelaksanaan “fast track” masih adanya kendala terhadap penguasaan informasi industri konstruksi dan bahan bangunan. Pada masa sekarang dilakukan pendekatan rancangan yang lebih terpadu yakni pendekatan model biaya daur hidup bangunan (*building's life cycle cost*).

Bentuk yang muncul pertama kali dalam pemrograman arsitektur adalah peluang bagi tercapainya keterpaduan dengan sistim struktural dan pengendalian lingkungan. Keduanya membutuhkan gagasan pada tingkat yang sama dengan yang dibutuhkan dalam rancangan arsitektural. Pengetahuan tentang teknologi bangunan dan bahan dapat digunakan sebagai batasan bagi konsep arsitektural tanpa membatasi kreatifitas arsitek.



Gambar 1. Ketinggian Optimal Sistim Struktur

Berdasarkan tinjauan disain struktural, gedung semakin tinggi, respon struktur terhadap beban lateral (akibat gempa atau angin) menjadi semakin penting. Untuk memperoleh kestabilan, struktur rangka umumnya tidak efisien, hanya efisien pada ketinggian sampai 10 tingkat.

Apabila gedung semakin tinggi, sampai bertingkat menengah, seharusnya digunakan mekanisme pengekang lateral, seperti bracing diagonal disekitar daerah elevator. Pada gedung yang sangat tinggi, perilaku gedung akibat beban lateral cenderung menghasilkan momen guling, yang harus diimbangi oleh momen tahanan internal yang dihasilkan struktur.

Apabila gedung sangat langsing, maka terjadi lengan momen kecil diantara gaya-gaya pada elemen struktur vertikal, sehingga diperlukan gaya yang sangat besar agar menghasilkan momen internal yang cukup. Gedung yang tingginya sama, tetapi mempunyai dasar lebih lebar dan tidak langsing, memberikan momen tahanan internal yang sama, tetapi gaya yang timbul pada elemen struktur vertikal lebih kecil.

Respons struktural gedung bertingkat banyak akibat goyangan angin yang bersifat *steady-state*, sehingga gedung mengalami perubahan bentuk yang berupa defleksi dan osilasi. Defleksi akan menyebabkan berubahnya fungsi-fungsi elemen-elemen struktur gedung, dan osilasi akan menyebabkan ketidaknyamanan pada pengguna gedung.

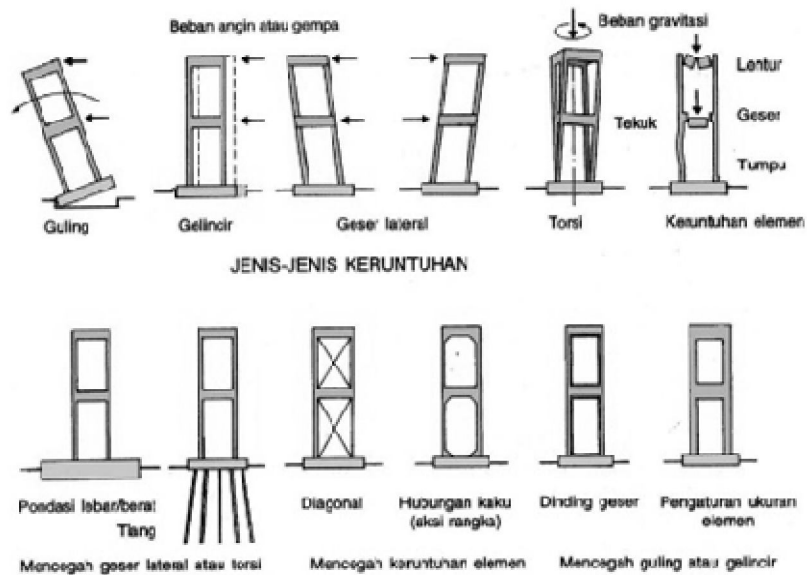
Elemen-elemen struktur yang berfungsi sebagai mekanisme penyaluran beban-beban yang bekerja, meliputi :

### **a. Sistim Pendukung Beban Lateral**

Elemen-elemen pendukung beban gempa (seismic loads) merupakan elemen pendukung beban lateral, seperti juga angin. Dan prinsip elemen vertikal pendukung beban lateral, atau elemen struktur, mencakup :

- Rangka kaku (rigid frame), atau portal kaku (moment resistant frame);
- Rangka diperkaku dengan batang diagonal (braced frame);
- Dinding geser (shear wall);
- Perubahan posisi antar susunan elemen.

Gaya-gaya lateral yang bekerja didistribusikan pada seluruh lebar atau panjang bangunan untuk mencapai elemen-elemen vertikal melalui diafragma. Dan gaya-gaya lateral yang bekerja pada bangunan akan disalurkan pada elemen-elemen pendukung gaya vertikal dan pendukung gaya horizontal. Elemen pendukung gaya vertikal adalah kolom dan dinding yang berfungsi sebagai diafragma, serta elemen pendukung gaya horizontal yang meliputi lantai, struktur lantai, balok yang akhirnya disalurkan kedalam kolom dan pondasi.



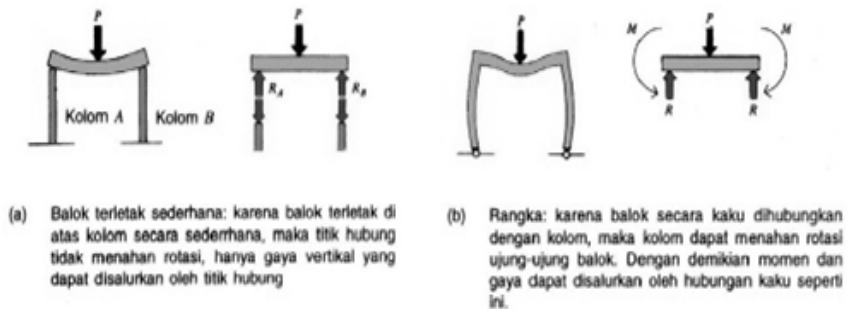
Gambar 1. Prilaku Beban Lateral

## b. Pendukung Gaya Vertikal

Sistim tumpuan vertikal pada sel yang sama dapat berupa dinding pemikul beban atau susunan balok serta kolom. Elemen kolom dan dinding pemikul mengalami tekan dan kadang terjadi lentur. Pendistribusian gaya akibat beban vertikal dapat berupa sistim struktural satu arah ataupun struktural dua arah.

Kekakuan struktur yang dicapai dengan penyusunan elemen-elemen struktur, seperti :

- Bidang-bidang bangunan tersusun secara kaku (rigid) satu sama lain, seperti struktur bidang lipat;
- Bentuk tiga dimensi merupakan elemen penunjang utama pada kekakuan stuktur unit box (box system);
- Material plat datar dibuat monolit (solid) atau sistim rangka yang terisi bidang-bidang yang sifatnya non-struktural.



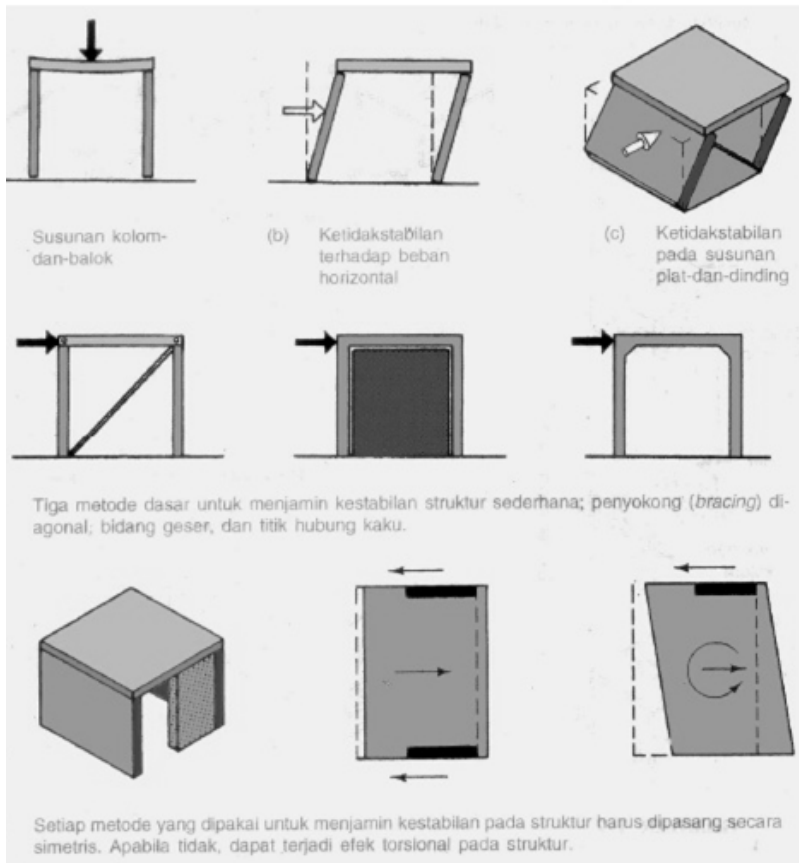
Gambar 1. Prilaku Beban Vertikal

### c. Pendukung Gaya horizontal

Gaya-gaya lateral yang bekerja dan berasal dari luar bangunan, seperti gempa, angin, beban hidup dan lain-lain, yang bekerja pada bangunan merupakan gaya-gaya lateral yang bekerja pada bangunan. Sistem yang membentang horizontal dapat terdiri atas deretan balok-balok (atau rangka batang) satu arah dan elemen-elemen plat dua atau satu arah yang kaku.

Elemen pendukung struktur yang digunakan untuk mengatasi gaya-gaya lateral yang biasa dikenal adalah sistem core (inti) dan sistem shear wall (dinding geser).





Gambar 1. Prilaku Beban Horizontal

Sistim yang membentang secara horizontal pada gambar dibawah, memperlihatkan pendistribusian beban (satu arah dan dua arah) dan kondisi lentur yang terjadi apabila beban vertikal mulai bekerja pada elemen struktur.











455 m									John Hancock Centre	World Trade Centre
365 m										
275 m			First National Bank, Seattle	Civic Centre	Dome Centre	Chase M. Bank	East Nat. Bank, Chicago	U.S. Steel		
180 m		Equit. versicherung								
90 m	Gateway Centre									
										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Building module m	1,37	1,47	1,422	1,47	1,52		1,52			0,99
Span between column centres	13,72	11,75	10,973		12,20					18,29
Plan dimensions	41,76x82,91	35,36x53,83	38,40x43,90		37,80x74,37					63,70x63,70
Plan area	3462		1655							3995
Total floor area			68183	136098			176510		260120	
No. of floors for occupants		33	36	28			49			94
No. of service floors		1	4	2	3		4		3	4
Total no. of floors		35	50	30	56		60	64	100	104
Floor - floor height				5,49				3,60		
Total height m		135,64	135,62	197,21	225,55		256,34	256,34	335,28	411,48
No. of groups of lifts	2x6	2x6, 1x5			4x8					
No. of goods lifts	12	17	22	42	32					
No of goods elevators	1	1			2					
Self weight of steel kg/m <sup>2</sup>	92,76	151,35	159,65	214,82	180,65	234,35	178,88	146,47	145,00	209,94
Steel cost \$/t	300,-	315,-		420,0	3270,3800	350,0	425,0		375,0	600,0
Steel cost \$/m <sup>2</sup>	30,66	52,72		99,0	64,5675,32	90,38	79,62		92,53	135,80
Total steel weight t			10896		29938		32668		38102	

Figure 1 Basic data of famous tall buildings  
Gambar 1. Jenis Sistem Struktur pada Bangunan Tinggi

Dikatakan bahwa semua material akan mengalami deformasi (perubahan bentuk) apabila dikenai beban, dan akan kembali ke bentuk semula apabila beban tersebut diiadakan. Sehingga bahan dikatakan elastis. Bahan-bahan yang sifatnya liat (*ductile materials*) akan berubah bentuk secara plastis sebelum patah, sedangkan bahan-bahan getas (*brittle*) tidak mempunyai daerah plastis. Maka baja dikatakan liat, sedangkan besi tuang adalah getas. Sedangkan keliatan adalah syarat dasar untuk bahan-bahan struktur.

Ukuran efisiensi structural suatu bahan dinyatakan dengan *rasio kekuatan-kerapatan* atau *kekuatan specific* ( $k$ ).

$$k = f/\omega$$

Dimana :

$f$  : tegangan ultimit, MPa

$\omega$  : berat jenis, kg/m<sup>3</sup>.

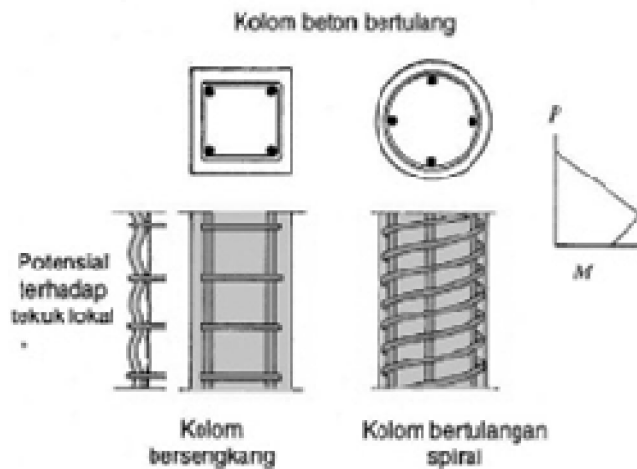
Semakin tinggi kekuatan spesifik, maka semakin kuat bahan tersebut pada dasar beban setiap kilogram.

#### 4.1. Material Beton

Beton bertulang adalah suatu bahan material yang terbuat dari beton dan baja tulangan. Kombinasi dari kedua material tersebut menghasilkan bahan bangunan yang mempunyai sifat-sifat yang baik dari masing-masing bahan bangunan tersebut. Beton mempunyai sifat yang bagus, yaitu mempunyai kapasitas tekan yang tinggi. Akan tetapi, beton juga mempunyai sifat yang buruk, yaitu lemah jika dibebani tarik. Sedangkan baja tulangan mempunyai kapasitas yang tinggi terhadap beban tarik, tetapi mempunyai kapasitas tekan yang rendah karena bentuknya yang langsing (akan mudah mengalami

tekuk terhadap beban tekan). Namun, dengan menempatkan tulangan di bagian beton yang mengalami tegangan tarik akan mengeliminasi kekurangan dari beton terhadap beban tarik. Demikian juga bila baja tulangan ditaruh di bagian beton yang mengalami tekan, beton disekeliling tulangan bersama-sama tulangan sengkang akan mencegah tulangan mengalami tekuk. Demikianlah penjelasan tentang mengapa kombinasi dari kedua bahan bangunan ini menghasilkan bahan bangunan baru yang memiliki sifat-sifat yang lebih baik dibanding sifat-sifat dari masing-masing bahan tersebut sebelum digabungkan. Berikut kita akan paparkan sesuatu yang berhubungan dengan bahan bangunan beton dan tulangan baja.

Beton adalah bahan bangunan yang terbuat dari semen (Portland cement atau semen hidrolis lainnya), pasir atau agregat halus, kerikil atau agregat kasar, air dan dengan atau tanpa bahan tambahan. Kekuatan tekan beton yang digunakan untuk perencanaan ditentukan berdasarkan kekuatan tekan beton pada umur 28 hari. Meskipun sekarang kita dapat menghasilkan beton dengan kekuatan tekan lebih 100 MPa, kekuatan tekan beton yang umum digunakan dalam perencanaan berkisar antara 20 – 40 MPa. Seperti diterangkan sebelumnya, beton mempunyai kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi mempunyai kekuatan tarik yang rendah, hanya berkisar antara 8% sampai 15% dari kekuatan tekannya. Untuk mengatasi kelemahan dari bahan beton inilah maka ditemukan bahan bangunan baru dengan menambahkan baja tulangan untuk memperkuat terutama bagian beton yang mengalami tarik.



Gambar 1. Kolom Beton

Material-material penyusun beton secara umum dibedakan atas, seperti :

- Semen: bahan pengikat hidrolik;
- Agregat campuran: bahan batu-batuan yang netral (tidak bereaksi) dan merupakan bentuk sebagian besar beton (seperti : pasir, kerikil, batu-pecah, basalt);
- Air
- Bahan tambahan (admixtures) bahan kimia tambahan yang ditambahkan ke dalam spesi-beton dan/atau beton untuk mengubah sifat beton yang dihasilkan (misalnya : *accelerator*, *retarder* dan sebagainya).

Sedangkan produk dari campuran tersebut diatas dapat dibedakan atas :

- batuan-semen, adalah campuran antara semen dan air (pasta semen) yang mengeras;
- Spesi-mortar, adalah campuran antara semen, agregat halus dan air yang belum mengeras;
- Mortar, adalah campuran antara semen, agregat halus dan air yang telah mengeras;
- Spesi-beton, adalah campuran antara semen, agregat campuran (halus dan kasar) dan air yang belum mengeras;
- Beton, adalah campuran antara semen, agregat campuran dan air yang telah mengeras.

Ada beberapa macam jenis beton yang dapat ditemukan di pasaran atau aplikasi bangunan, yaitu :

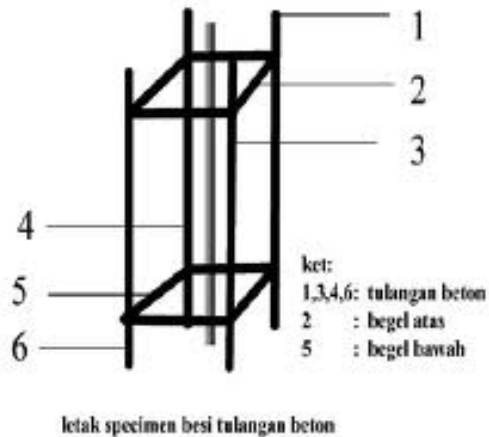
- a. Beton Ringan. Beton ringan adalah beton yang dibuat dengan beban mati dan kemampuan penghantaran panas yang lebih kecil dengan berat jenis kurang dari 1800 kg/m<sup>3</sup>.
- b. Beton Massa. Beton massa adalah beton yang dituang dalam volume besar, yaitu perbandingan antara volume dan luas permukaannya besar. Biasanya beton massa dimensinya lebih dari 60 cm.
- c. Fero semen adalah suatu bahan gabungan yang diperoleh dengan cara memberikan suatu tulangan berupa anyaman kawat baja sebagai pemberi kekuatan tarik dan daktilitas pada mortar semen.
- d. Beton Serat (Fibre Concrete). Beton Serat adalah bagian komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak– retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton biasa.
- e. Beton Non Pasir (No-Fines Concrete). Beton Non Pasir adalah bentuk sederhana dari jenis beton ringan yang diperoleh dengan cara menghilangkan bagian halus agregat pada pembuatan

beton. Tidak adanya agregat halus dalam campuran menghasilkan suatu sistem berupa keseragaman rongga yang terdistribusi di dalam massa beton serta berkurangnya berat jenis beton.

- f. Beton Siklop. Beton Siklop adalah beton normal/beton biasa yang menggunakan ukuran agregat yang relatif besar. Ukuran agregat kasar dapat mencapai 20 cm, namun proporsi agregat yang lebih besar ini sebaiknya tidak lebih dari 20 % agregat seluruhnya.
- g. Beton Hampa. Beton Hampa adalah beton yang setelah diaduk, dituang, dan dipadatkan sebagaimana beton biasa, air sisa reaksi disedot dengan cara khusus yang disebut cara vacuum. Air yang tertinggal hanya air yang dipakai untuk reaksi dengan semen sehingga beton yang diperoleh sangat kuat.
- h. Beton Mortar. Beton Mortar adalah adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat, dan air. Mortar dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu : mortar lumpur, mortar kapur, dan mortar semen.

### **Beton Bertulang**

Beton bertulang adalah merupakan salah satu bentuk pengolahan struktur beton yang di dalamnya terdapat kerangka besi (baja) supaya kuat. Adapun fungsi dari besi/baja pada konstruksi beton bertulang adalah sebagai penahan tegangan tarik dikarenakan beton hanya kuat terhadap gaya tekan. Sehingga dengan demikian bangunan atau konstruksi yang dibuat dengan kerangka beton bertulang relative tahan terhadap tegangan tarik dan gaya tekan. Sebelum melaksanakan pekerjaan beton bertulang terlebih dahulu kita menghitung kebutuhan volume material besi beton sehingga dapat dipersiapkan sebelumnya dengan jumlah yang tepat.

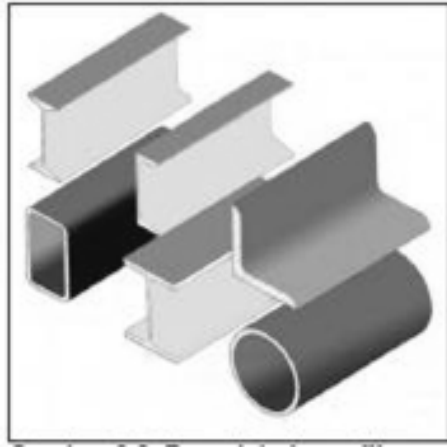


Gambar 1. Beton Bertulang

#### 4.2. Material Baja

Baja merupakan bahan structural yang paling efisien. Penggunaan baja sebagai bahan struktur utama dimulai pada akhir abad kesembilan belas ketika metode pengolahan baja yang murah dikembangkan dengan skala yang luas. Baja merupakan bahan yang mempunyai sifatstruktur yang baik. Baja mempunyai kekuatan yang tinggi dan sama kuat pada kekuatan tarik maupun tekan dan oleh karena itu baja adalah elemen struktur yang memiliki batasan sempurna yang akan menahan beban jenis tarik aksial, tekan aksial, dan lentur dengan fasilitas yang hampir sama. Berat jenis baja tinggi, tetapi perbandingan antara kekuatan terhadap beratnya juga tinggi sehingga komponen baja tersebut tidak terlalu berat jika dihubungkan dengan kapasitas muat bebannya, selama bentuk-bentuk struktur yang digunakan menjamin bahwa bahan tersebut dipergunakan secara efisien.





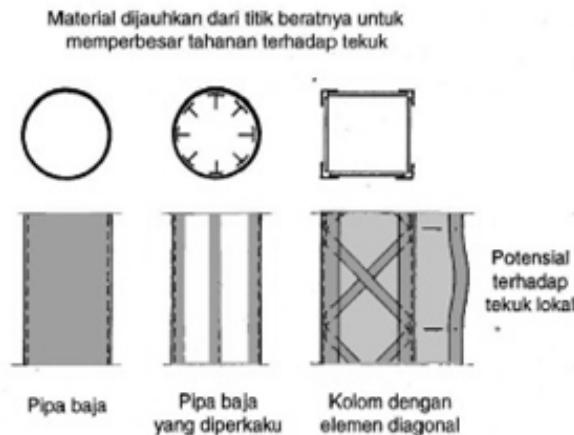
Gambar 1. Material Baja

Menurut SNI 03-1729-2002 tentang "Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung" Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada tabel sifat mekanis baja. Tegangan leleh Tegangan leleh untuk perencanaan ( $f_y$ ) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan tabel tersebut. Tegangan putus Tegangan putus untuk perencanaan ( $f_u$ ) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan tabel dibawah.

Tabel 1. Sifat Mekanis Baja

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan leleh minimum, $f_y$ (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Fungsi struktur merupakan faktor utama dalam penentuan konfigurasi struktur. Berdasarkan konfigurasi struktur dan beban rencana, setiap elemen atau komponen dipilih untuk menyangga dan menyalurkan beban pada keseluruhan struktur dengan baik. Batang baja dipilih sesuai standar yang ditentukan oleh American Institute of Steel Construction (AISC) juga diberikan oleh American Society of Testing and Materials (ASTM). Pengelasan memungkinkan penggabungan plat dan/atau profil lain untuk mendapatkan suatu profil yang dibutuhkan oleh perencana atau arsitek.



Gambar 1. Kolom Baja - Kombinasi

### Kekuatan Tinggi

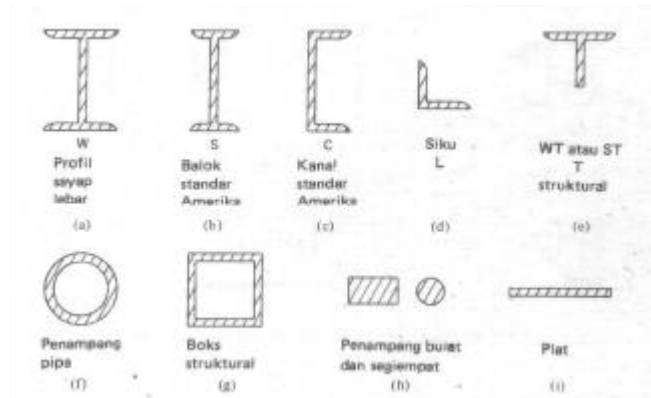
Dewasa ini baja bisa diproduksi dengan berbagai kekuatan yang bisa dinyatakan dengan kekuatan tegangan tekan lelehnya ( $F_y$ ) atau oleh tegangan tarik batas ( $F_u$ ). Bahan baja walaupun dari jenis yang paling rendah kekuatannya, tetap mempunyai perbandingan kekuatan per-volume lebih tinggi bila dibandingkan dengan bahan-

bahan bangunan lainnya yang umum dipakai. Hal ini memungkinkan perencanaan sebuah konstruksi baja bisa mempunyai beban mati yang lebih kecil untuk bentang yang lebih panjang, sehingga memberikan kelebihan ruang dan volume yang dapat dimanfaatkan akibat langsingnya profil-profil yang dipakai.

### **Daktilitas**

Sifat dari baja yang dapat mengalami deformasi yang besar di bawah pengaruh tegangan tarik yang tinggi tanpa hancur atau putus disebut sifat daktilitas. Adanya sifat ini membuat struktur baja mampu mencegah terjadinya proses robohnya bangunan secara tiba-tiba. Sifat ini sangat menguntungkan ditinjau dari aspek keamanan penghuni bangunan bila terjadi suatu guncangan yang tiba-tiba seperti misalnya pada peristiwa gempa bumi. Di samping itu keuntungan-keuntungan lain dari struktur baja, antara lain adalah:

- Proses pemasangan di lapangan berlangsung dengan cepat.
- Dapat di las.
- Komponen-komponen strukturnya bisa digunakan lagi untuk keperluan lainnya.
- Komponen-komponen yang sudah tidak dapat digunakan lagi masih mempunyai nilai sebagai besi tua.
- Struktur yang dihasilkan bersifat permanen dengan cara pemeliharaan yang tidak terlalu sukar.

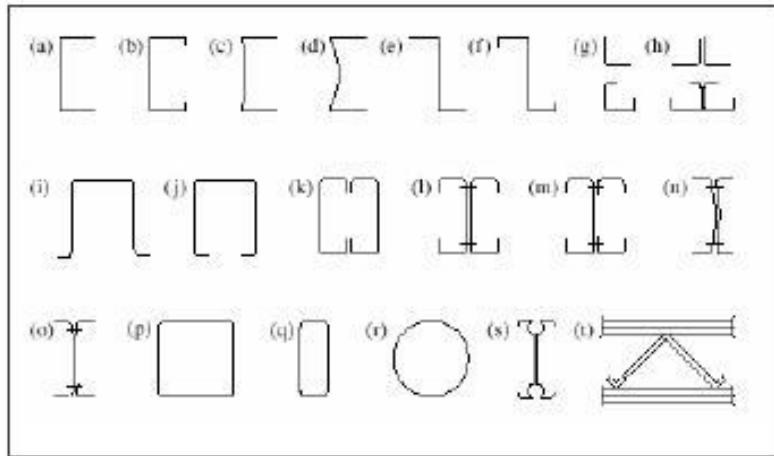


Gambar 1. Tipe Standar Penampang Baja

Selain keuntungan-keuntungan tersebut diatas bahan baja juga mempunyai kelemahan-kelemahan sebagai berikut :

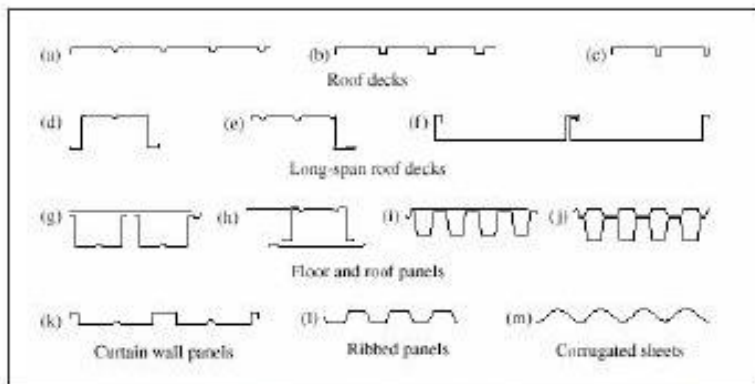
- Komponen-komponen struktur yang dibuat dari bahan baja perlu diusahakan supaya tahan api sesuai dengan peraturan yang berlaku untuk bahaya kebakaran.
- Diperlukannya suatu biaya pemeliharaan untuk mencegah baja dari bahaya karat.
- Akibat kemampuannya menahan tekukan pada batang-batang yang langsing, walaupun dapat menahan gaya-gaya aksial, tetapi tidak bisa mencegah terjadinya pergeseran horizontal.

Bentuk-bentuk elemen profil baja yang dapat digunakan sebagai komponen struktur bangunan, seperti kolom, balok, rangka atap dan lain-lain.



Gambar 1. Profil Baja Elemen Struktur Rangka

Bentuk elemen baja yang sekarang banyak dikembangkan berupa baja lembaran atau panel, seperti produk smart truss (baja ringan) untuk penggunaan rangka atap atau rangka lantai dan plafond, karena disamping ringan juga tahan terhadap korosi.

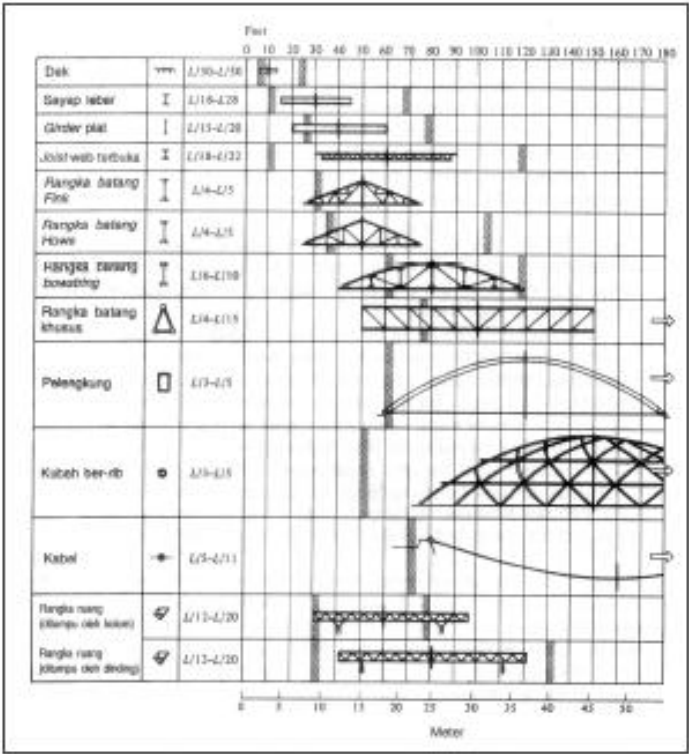


Gambar 1. Profil Baja Lembaran Panel

Ukuran Elemen

Untuk mengilustrasikan batas-batas perbandingan tinggi dan bentang untuk beberapa sistem struktur baja yang umum digunakan. Kolom baja struktural umumnya mempunyai perbandingan tebal-tinggi bervariasi antara 1 : 24 dan 1 : 9, yang tergantung pada beban dan tinggi kolom. Keseluruhan kemungkinan bentang yang dapat dicapai dari beberapa sistem terangkum dalam tabel dibawah.

Tabel 1. Perbandingan Tinggi dan Bentang

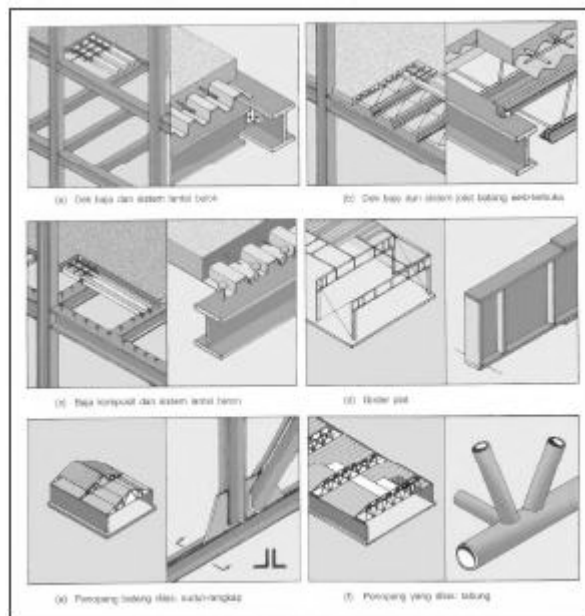


Setiap struktur adalah gabungan dari bagian-bagian tersendiri atau batang-batang yang harus disambung bersama (biasanya di

ujung batang) dengan beberapa cara. Sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung, dan pelat penyambung) dan alat pengencang (baut dan las).

### Struktur Balok

Bentuk sayap lebar biasanya digunakan sebagai elemen yang membentang secara horizontal [lihat Gambar 6.7(a)]. Interval bentang yang mungkin untuk elemen ini sangat lebar. Elemen ini biasanya ditumpu sederhana kecuali apabila aksi rangka diperlukan untuk menjamin stabilitas, di mana hubungan yang mampu memikul momen digunakan. Bentuk-bentuk lain, seperti kanal, kadang-kadang digunakan untuk memikul momen, tetapi biasanya terbatas pada beban ringan dan bentang pendek.



Gambar 1. Sistim Konstruksi sambungan Baja (1)

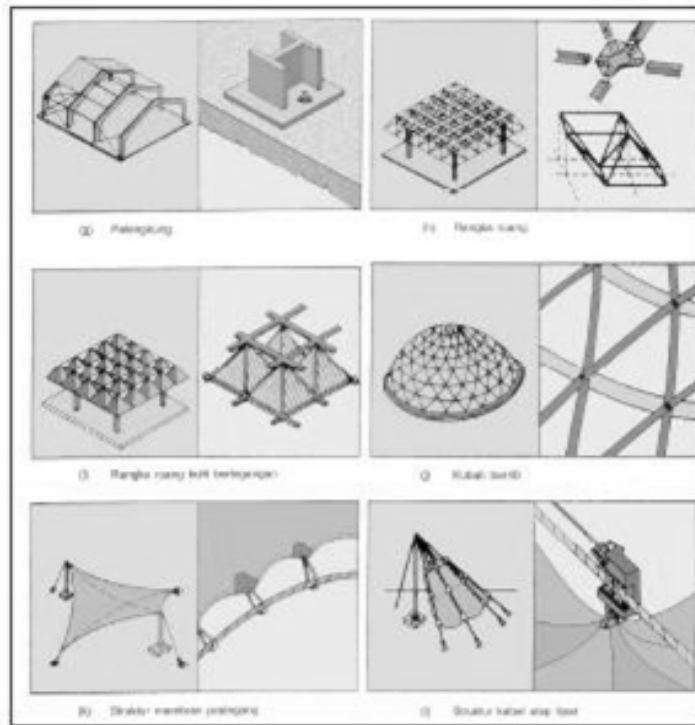
### **Girder Plat**

Girder plat adalah bentuk khusus dari balok dengan penampang tersusun. Elemen ini dapat dirancang untuk berbagai macam beban maupun bentang yang dibutuhkan. Elemen struktur ini sangat berguna apabila beban yang sangat besar harus dipikul oleh bentang menengah. Elemen ini sering digunakan, misalnya sebagai elemen penyalur beban utama yang memikul beban kolom pada bentang bersih.

### **Konstruksi Komposit**

Banyak sistem struktural yang tidak dapat dikelompokkan secara mudah menurut material yang digunakan. Sistem balok komposit seperti terlihat pada gambar diatas, sering kita jumpai. Dalam hal ini, baja adalah bagian yang diletakkan pertama kali, kemudian beton di-cor di sekitar penghubung geser (shear connectors) di atas balok baja. Adanya penghubung geser tersebut menyebabkan balok baja dan beton di atasnya bekerja secara integral. Dengan demikian terbentuk enampang T dengan baja sebagai bagian yang mengalami tarik, dan beton yang mengalami tekan.





Gambar 1. Sistim Konstruksi Sambungan Baja (2)

### Rangka Batang dan Sambungan Batang Terbuka

Merupakan variasi tak hingga dari konfigurasi rangka batang yang mungkin digunakan. Rangka batang dapat juga dibuat atau dirancang secara khusus untuk bentang dan beban yang sangat besar. Joist web terbuka yang merupakan produksi besar-besaran [lihat Gambar 6.7(b)], dapat digunakan baik untuk sistem lantai maupun atap. Elemen ini umumnya relatif ringan dan terdistribusi merata. Joist web terbuka umumnya ditumpu sederhana, tetapi bila diperlukan dapat dibuat hubungan kaku. Pada sistem yang sama dapat digunakan joist web terbuka dan flens lebar yang mempunyai

titik hubung yang dapat memikul momen sehingga kita mendapat aksi rangka yang dapat menahan beban lateral.

### **Struktur Pelengkung**

Pelengkung kaku dengan berbagai bentuk dapat dibuat dari baja. Pelengkung yang telah dibuat di luar lokasi (prefabricated) dan telah tersedia untuk bentang kecil sampai menengah. Telah ada pelengkung yang dirancang secara khusus dan mempunyai bentang sangat panjang [misalnya bentang 300 ft (90 meter) atau lebih. Pelengkung baja dapat dibuat dari penampang masif atau dinding terbuka.

### **Struktur Cangkang**

Banyak bentuk cangkang yang menggunakan baja. Masalah utama dalam penggunaan baja untuk memperoleh permukaan berkelengkungan ganda adalah memuat bentuk dari elemen-elemen garis. Pada kubah, misalnya, baik pendekatan dengan rusuk atau geodesik adalah mungkin. Dek baja ringan yang erdimensi kecil umumnya digunakan untuk membentuk permukaan terluarnya. Pada situasi bentang kecil, permukaan baja melengkung dapat dibuat dengan menekan lembaran baja secara khusus agar serupa dengan cara yang digunakan dalam membuat bentuk baja berkelengkungan tunggal maupun ganda pada badan mobil.

### **Struktur Kabel**

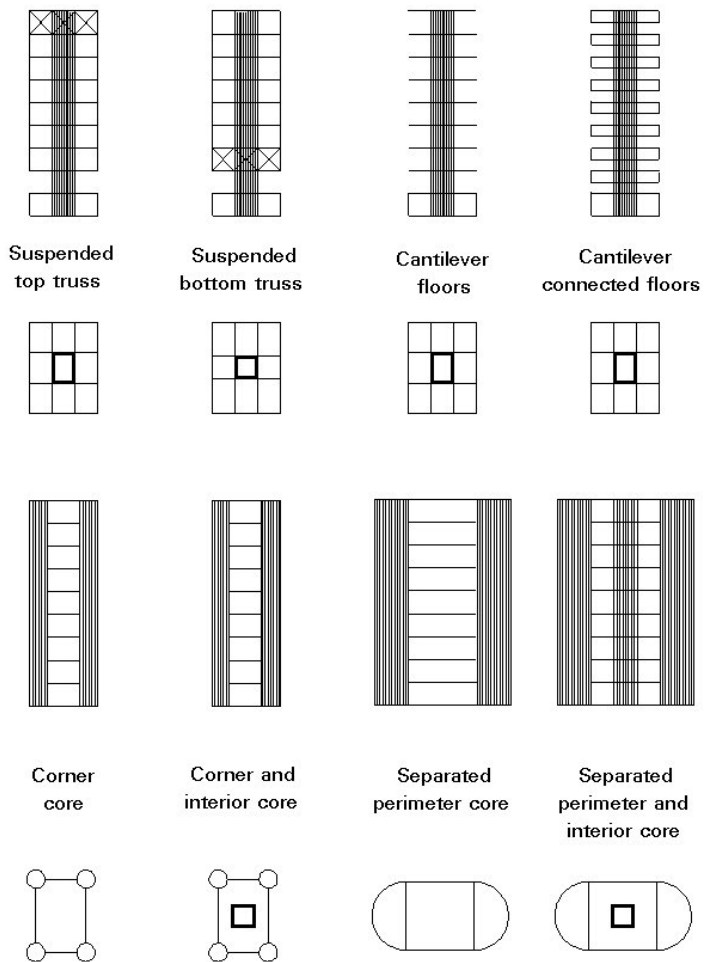
Baja adalah satu-satunya material yang dapat digunakan sebagai struktur kabel. Bentuk struktur kabel yang dapat dibuat tak hingga banyaknya. Kabel dapat digunakan untuk atap permanen yang permukaan penutupnya dapat berupa elemen rangka datar kaku atau permukaan membran.

## BAB V. STRUKTUR CORE (INTI BANGUNAN)

Struktur core wall yang bisa dijumpai dalam aplikasi konstruksi bangunan tinggi dewasa ini ada bermacam-macam. Antara lain adalah bentuk  $\square$ ,  $\Delta$ , O, atau core wall dua cell dengan pengaku di tengahnya berbentuk  $\boxplus$ . Dari masing-masing bentuk core wall ini, mempunyai karakteristik yang berbeda-beda dalam memberikan fleksibilitas dan efektivitas pada struktur bangunan. Bangunan tinggi yang mempunyai struktur core wall, dibuat dengan salah satu pertimbangan adalah fleksibilitas untuk pengaturan posisi (tata letak) yang akan memberikan penghematan dan efisiensi maksimum pada bangunan secara keseluruhan.

Pada sistim core (inti) sebagai pengaku bangunan secara keseluruhan, dimana gaya-gaya lateral yang bekerja disalurkan oleh balok-balok menuju ke core/inti sebagai elemen struktur utama. Core sebagai inti pengaku pendukung utama struktur bangunan, dengan material dari :

- Core beton (shear wall atau bearing wall)
- Core dari struktur baja (tube)



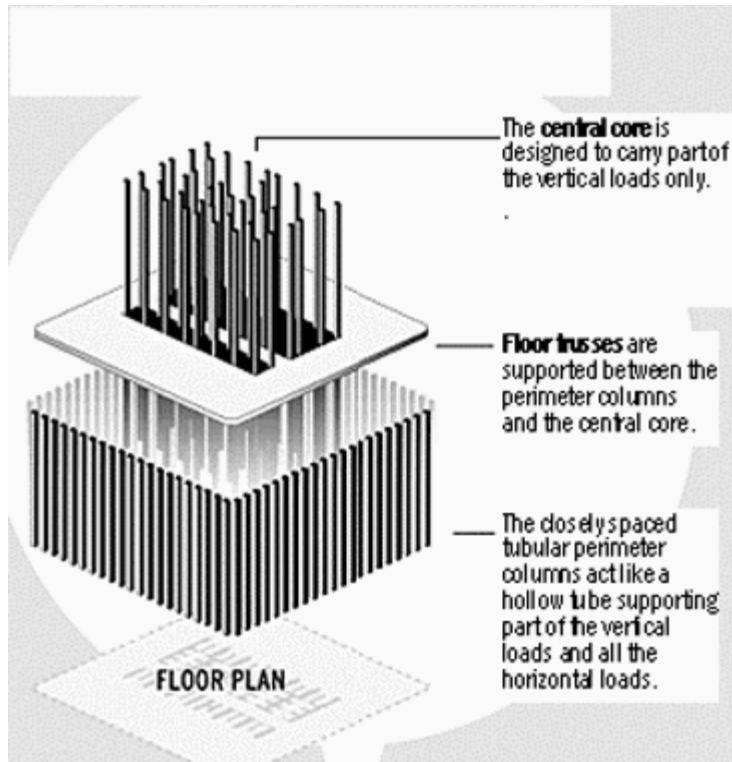
Gambar 1. Tata Letak Sistim Core

Posisi perletakan sistim core pada bangunan tergantung pada titik pusat keseimbangannya, dimana perletakkannya mempunyai beberapa varian, seperti :

- Sentral core, dimana core (inti) terletak pada titik pusat massa bangunan.

- Core pada tepi bangunan, berfungsi sebagai penahan gaya lateral secara langsung “lateral core”.
- Bangunan dengan 2 (dua) core, dimana perletakan core pada kedua sisi bangunan.
- Bangunan dengan core tersebar, dengan perletakan core tersebar pada seluruh bidang bangunan dan berada pada titik berat bangunan.
- Core dengan shear wall, yang berguna untuk kekakuan. Dimana core dipadu dengan shear wall (dinding geser), sedang shear wall berperan sebagai penahan gaya geser daripada gaya horizontal.
- Core dengan rangka kaku (baja), merupakan penggabungan core dengan rangka kaku sehingga menjadi satu kesatuan yang kaku dan stabil.

Dan yang paling penting adalah bahwa sistem struktur core wall ini didesain untuk dapat menahan gaya torsi yang timbul akibat tekanan angin yang eksentrisitas dan seragam pada pusat geser struktur core wall. Struktur core wall pada dasarnya adalah sistem struktur yang dibuat untuk mampu menahan gaya-gaya lateral yang timbul akibat gaya angin atau gempa yang merupakan beban dinamis. Untuk proses analisis mekanikanya, pengaruh gaya-gaya akibat beban angin dan gempa tersebut (yang merupakan beban dinamis) diperlakukan sebagai beban statis dan mengabaikan sifat dinamisnya.



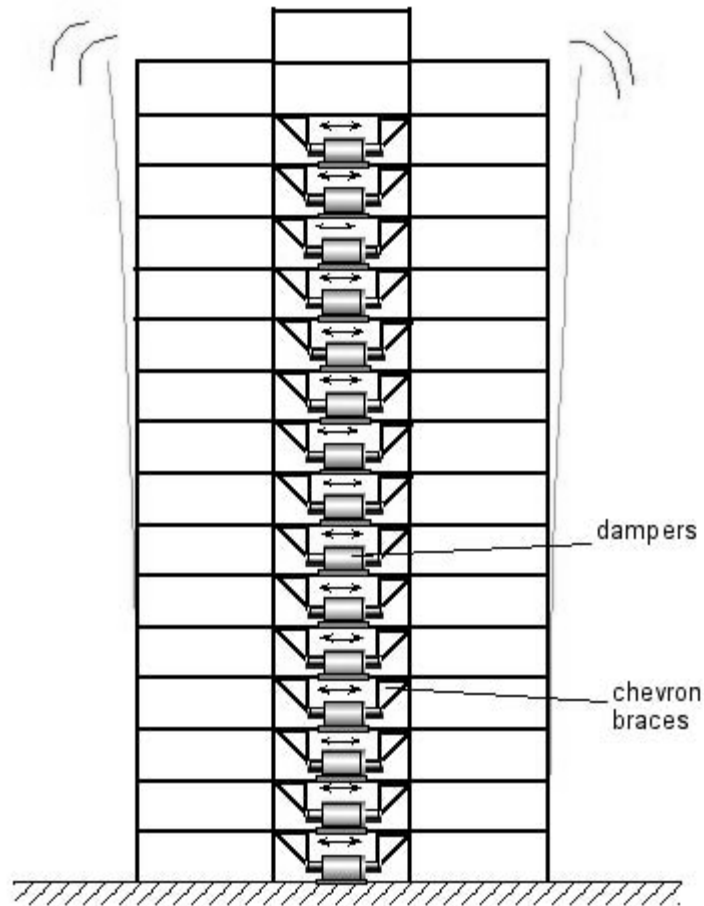
Gambar 1. Struktur Core

Kondisi eksentrisitas tekanan angin tersebut secara teknis dapat terjadi antara lain adalah karena :

- Posisi struktur core wall yang ditempatkan di dalam bangunan. Penempatan struktur core wall yang dekat kepada pusat bangunan akan memberikan eksentrisitas tekanan angin yang berkurang, yang juga akan memperkecil pengaruh gaya torsi yang terjadi. Namun secara praktis untuk membuat pengaruh gaya torsi tidak ada (nol) sama sekali dalam konstruksi bangunan di lapangan adalah mustahil, dikarenakan gaya angin yang terjadi tidak pernah seragam dan simetris.

- Sudut datang gaya angin itu sendiri merupakan faktor penentu sebagai komponen yang mempunyai nilai berbeda untuk setiap sudut datang yang berbeda, yang sudah tentu akan menghasilkan torsi yang berbeda pula.
- Selain itu, yang pasti bentuk bangunan dan lubang-lubang pada struktur core wall juga dapat mempengaruhi nilai torsi yang timbul.

Sistem rangka kaku murni dalam perkembangannya tidak praktis untuk bangunan yang lebih tinggi dari 30 lantai. Berbagai sistem telah diterapkan dengan menggunakan dinding geser didalam rangka untuk menahan beban lateral. Dinding ini terbuat dari beton atau rangka baja. Bentuknya bisa berupa inti interior tertutup, mengelilingi ruang lift atau ruang tangga, atau bisa berupa dinding sejajar di dalam bangunan, bahkan bisa juga berupa rangka fasade vertikal.



Gambar 1. Core di tengah Bangunan

Untuk bangunan apartement, kebutuhan jaringan akan fungsi dan utilitas cenderung tetap, tetapi untuk bangunan komersial membutuhkan fleksibilitas dalam hal tata letak yang memerlukan ruang terbuka yang cukup lebar dengan dinding partisi yang dapat dipindah-pindah. Untuk yang menggunakan sistem struktur inti, inti dapat dipergunakan untuk menempatkan sistem transportasi vertikal,

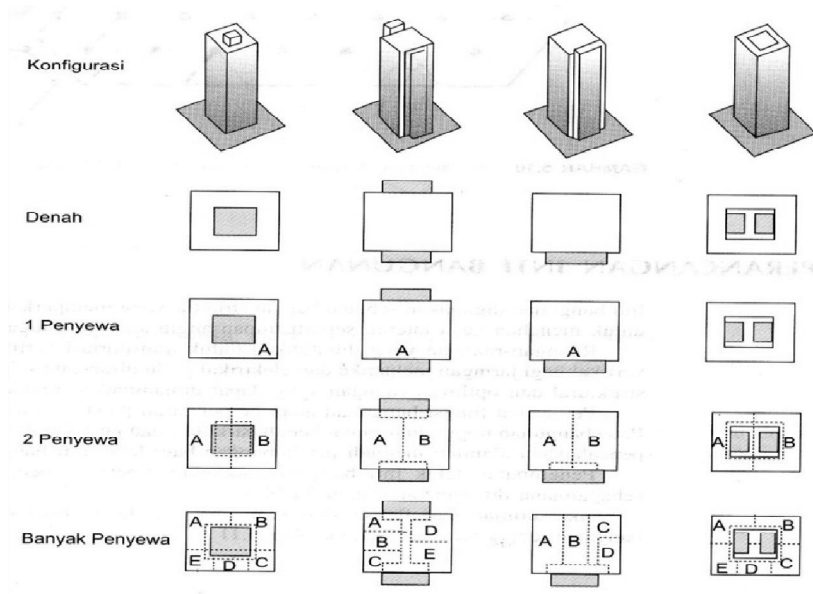


tangga, wc, shaft, dan jaringan utilitas lainnya sehingga kadang bangunan mempunyai inti yang lebih dari satu.

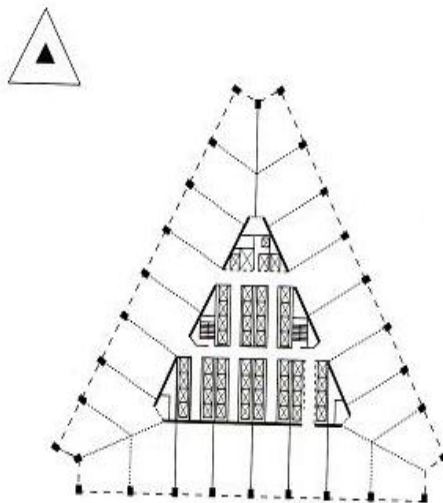
Beberapa bangunan tinggi menggunakan inti dan rangka. Dari segi perilaku denah ini diterapkan untuk memuaskan sistem plat datar atau dinding rangka geser bersama belt trusses. Inti dapat terbuat dari beton, baja atau kombinasi antara beton dan baja. Keuntungan inti baja, dalam perakitan lebih cepat karena pabrikasi. Sedangkan inti dari beton menghasilkan ruang yang sekaligus memikul beban. Juga dapat dipakai untuk perlindungan saat kebakaran.

Bentuk denah yang bermacam-macam memungkinkan perletakan sejumlah inti bangunan. Sistem inti ini dikaitkan dengan bentuk bangunan yang diatur menurut letaknya, seperti :

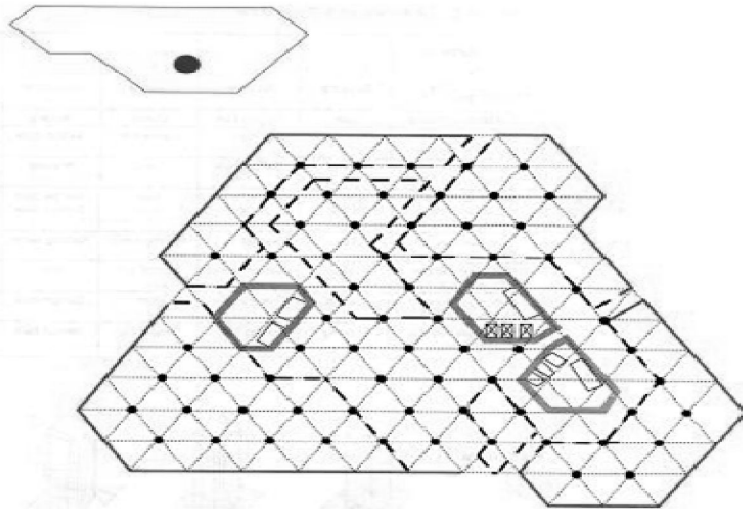
1. Letak inti :
  - inti fasade eksterior (d luar)
  - inti interior : inti fasade (sekeliling)
  - inti didalam bangunan
2. Jumlah inti :
  - inti tunggal
  - inti terpisah
  - inti banyak
3. Bentuk inti :
  - inti tertutup : bujur sangkar, persegi panjang, bulat, segitiga
  - inti bentuk terbuka : bentuk X, I dan [
  - Bentuk inti disesuaikan dengan bentuk bangunan
4. Susunan inti :
  - Simetris
  - Asimetris



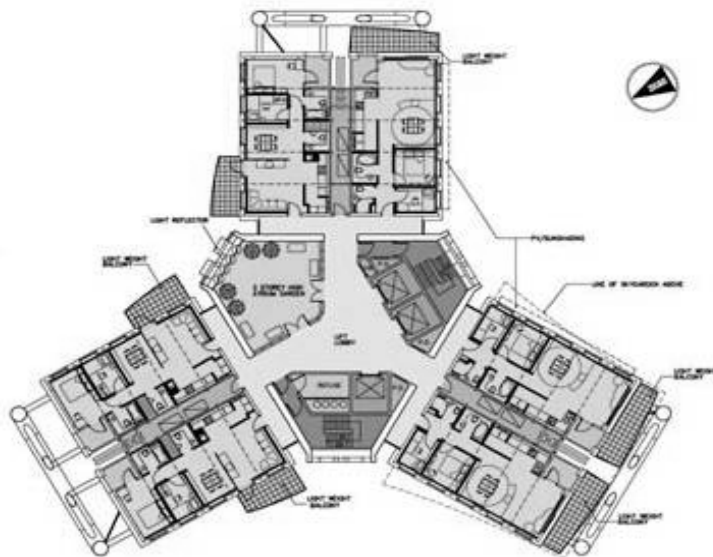
Gambar 1. Tata Letak Core sebagai Inti Bangunan



Gambar 1. Core pada Massa berbentuk Segitiga



Gambar 1. Core pada Massa berbentuk Tidak-Beraturan



Gambar 1. Denah dengan Core di Tengah

## BAB VI. STRUKTUR RANGKA ( SKELETON )

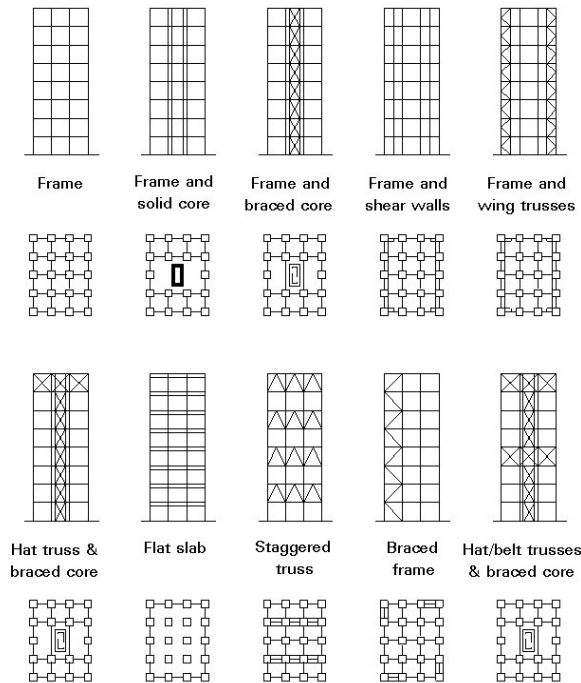
Bentuk struktur rangka adalah perwujudan dari pertentangan antara gaya tarik bumi dan kekokohan; dan struktur rangka yang modern adalah hasil penggunaan baja dan beton secara rasional dalam bangunan.

Kerangka ini terdiri atas komposisi dari kolom-kolom dan balok-balok. Unsur vertikal, berfungsi sebagai penyalur beban dan gaya menuju tanah, sedangkan balok adalah unsur horizontal yg berfungsi sebagai pemegang dan media pembagian lentur. Kemudian kebutuhan-kebutuhan terhadap lantai, dinding dan sebagainya untuk melengkapi kebutuhan bangunan untuk hidup manusia, dapat diletakkan dan ditempelkan pada kedua elemen rangka bangunan tersebut diatas. Jadi dapat dinyatakan disini bahwa rangka ini berfungsi sebagai struktur bangunan dan dinding-dinding atau elemen lainnya yang menempel padanya merupakan elemen yang tidak struktural.

Bahan-bahan yang dapat dipakai pada struktur ini adalah kayu, baja, beton atau lain-lain bahan yang tahan terhadap gaya tarik, tekan, punter, dan lentur. Untuk masa kini banyak digunakan baja dan beton yang mampu menahan gaya-gaya tersebut dalam skala besar. Untuk bahan pengisinya dapat dipakai bahan yang ringan atau yang tidak mempunyai daya dukung yang besar seperti susunan batu bata, dinding-dinding kayu, kaca dan lain-lain.

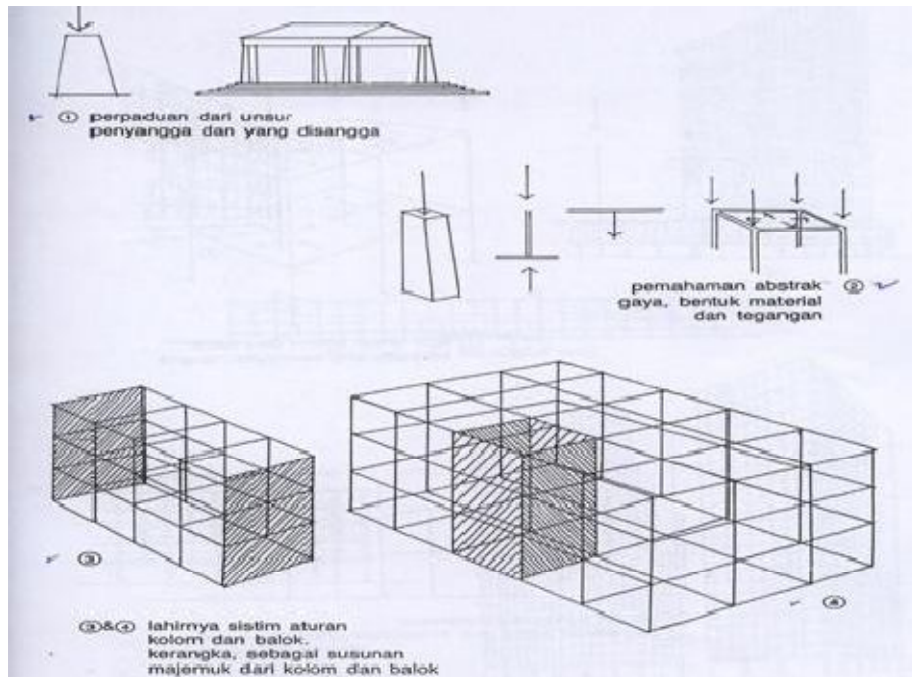
Untuk sistem struktur semacam ini dimungkinkan didapatnya bangunan bertingkat banyak untuk memenuhi kebutuhan, bila dibandingkan dibandingkan dengan sistem kontruksi yang lain. Hanya ada kekurangannya, yaitu jarak antara kolom mempunyai batas maksimum yang relatif kecil. Jarak antar kolom yang jauh akan

mempengaruhi dimensi dari balok mendatar yang akan membesar dan akan menjadi tidak ekonomis.



Gambar 1. Sistem Struktur Rangka

Tampak bangunan dengan struktur skeleton mempunyai dua macam aliran. Aliran pertama ialah dengan memperlihatkan kerangka struktur dari luar, sedangkan yg kedua dgn menutupinya dgn dinding tirai atau hiasan penghalang sinar matahari. Arsitektur setelah tahun 1950 condong memperlihatkan rangka struktur bangunan dgn alas an kejujuran, kemudahan diterima dan kesederhanaan (*exposed skeleton structure*).



Gambar 3. Sistim Struktur Rangka

Struktur rangka kaku (rigid frame) adalah struktur yang terdiri atas elemen-elemen linear, seperti kolom dan balok yang ujung-ujungnya dihubungkan dengan joints (titik hubung) yang bersifat kaku atau rigid, bedakan dengan struktur pos-and-beam yang titik hubungnya bersifat sendi atau roll.

Aksi lateral pada rangka menimbulkan lentur, gaya geser, dan gaya aksial pada semua elemen (balok dan kolom). Momen lentur akibat lateral akan mencapai maksimum pada penampang dekat titik hubung. Sehingga ukuran elemen struktur didekat titik hubung harus dibuat lebih besar atau diperkuat.

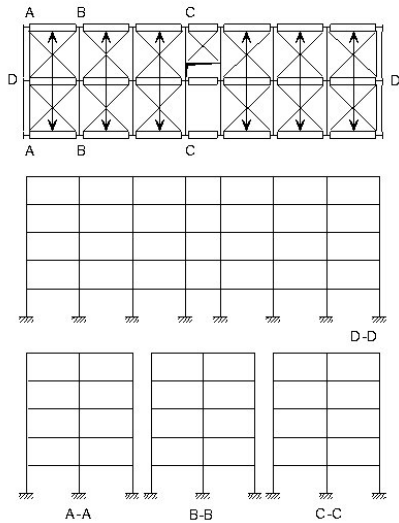
Efek beban lateral yang bekerja pada struktur rangka kaku gedung bertingkat banyak, dimana semakin tinggi gedung semakin

besar momen dan gaya-gaya pada setiap elemen. Apabila gaya yang bekerja sudah sedemikian besar, maka diperlukan kontribusi struktur lain, seperti bracing, sistim core ataupun dinding geser.

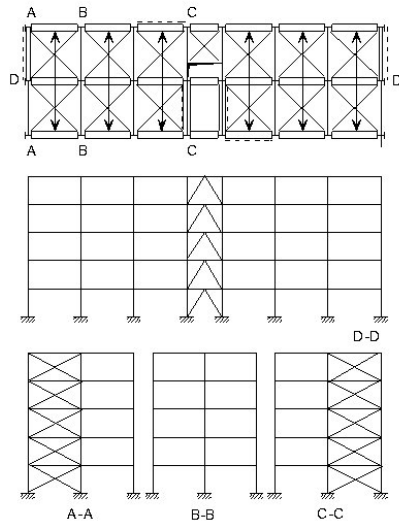
Distribusi gaya pada struktur rangka pada gedung tingkat banyak, apabila gedung mengalami gaya lateral maka akan terjadi kolom yang mengalami gaya tarik dan mengalami gaya tekan. Struktur rangka (rigid frame) merupakan struktur yang terdiri atas elemen-elemen linear, umumnya balok dan kolom, yang ujung-ujungnya dihubungkan dengan joints (titik hubung) yang dapat mencegah rotasi relatif diantara elemen struktur yang dihubungkannya. Dan untuk memahami perilaku struktur rangka sederhana adalah dengan membandingkan perilakunya terhadap beban dengan struktur *post-and-beam*.

Kerangka terdiri atas komposisi kolom-kolom dan balok-balok. Unsur vertikal berfungsi sebagai penyalur beban dan gaya-gaya menuju tanah, sedangkan balok adalah unsur horizontal sebagai pemegang dan media pembagi beban dan gaya menuju kolom. Efek turunnya tumpuan (*support settlement*) pada struktur rangka, karena adanya perbedaan penurunan tumpuan.

① Longitudinal rigid frames  
Floors arranged transversely



② Longitudinal frames with braced cantilevers  
Floors arranged transversely



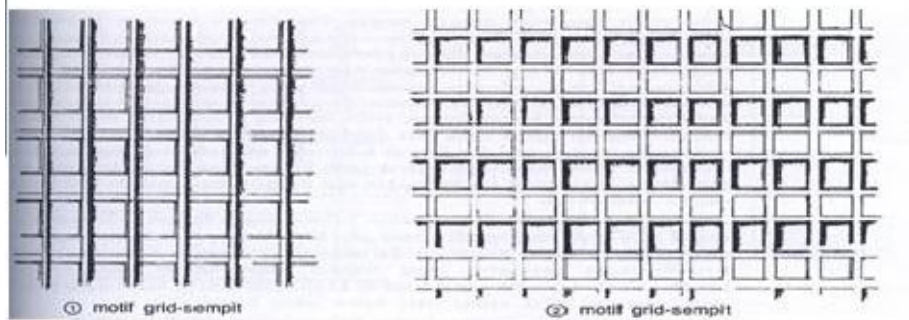
Gambar 4. Struktur Rangka dengan Bahan Baja

Beberapa jenis struktur rangka yang dapat dikembangkan, antara lain :

– **Rangka dengan Grid-Sempit**

Grid merupakan kisi-kisi yang bersilangan tegak lurus satu sama lain. Grid sempit mempunyai dimensi perencanaan terbatas antara 90 cm sampai 350 cm.





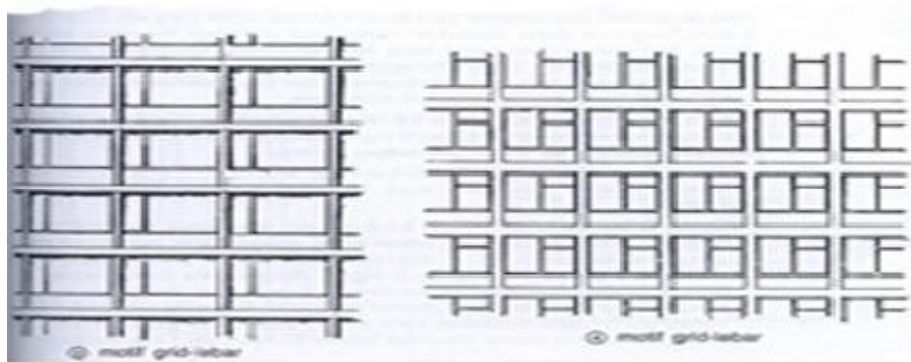
Gambar 5. Rangka Grid Sempit

Grid yang sempit berasal sedikit dari hukum statika dan lebih banyak dari fungsi perencanaan. Dinding luar yang dipecah menjadi beberapa jendela, balok dan kolom, berate bahwa pembatas ruang (*partitions*) yang melintang hanya dapat ditempatkan pada kolom. Semakin sempit jarak kolom, maka semakin banyak jumlah kemungkinan penempatan dinding penyekat atau pembatas ruang; semakin fleksibel perencanaannya dan semakin efisien penggunaan ruang.

#### – Rangka dengan Grid-Lebar

Grid lebar merupakan rangkaian balok yang disusun pada dua kolom bangunan yang dapat dibagi-bagi menjadi beberapa petak yang tidak memikul beban. Dan balok bentang akan memikul berat lantai. Karena balok bentang pada lantai kedua (balok sabuk lantai) tidak memikul kolom-kolom antara, maka tidak diperlukan balok yang besar atau tinggi. Balok bentang tersebut memikul berat lantai, sama halnya dengan balok-balok ditingkat-tingkat yang diatas, maka dimensi balok utama dapat disamakan. Lagi pula semua gaya yang terjadi karena gaya berat disalurkan melalui kolom-kolom struktural

langsung ke pondasi dalam tanah, tanpa melalui batang atau balok-balok lainnya.



Gambar 6. Rangka Grid Lebar

#### – **Struktur Portal**

Konstruksi bangunan petak dimana ujung-ujungnya bersifat kokoh dan kaku, sehingga dapat menahan gaya tekan, tarik, geser dan momen. Batang-batangannya terdiri atas balok dan kolom yang diperhitungkan untuk menahan gaya tekan, tarik dan momen.

Gaya datar ke dalam portal yang dihasilkan pondasi mengakibatkan momen lengkung pada tiang, sehingga elemen portal menderita tekan dan momen lengkung karena beban  $q$  diatas balok. Dan momen lengkung mengadakan tarik dan geser pada material portal.

#### – **Struktur Rangka Batang (*Trussed Frame*)**

Kekakuan lateral pada struktur yang sangat tinggi dapat sangat diperbesar dengan menggunakan elemen *bracing diagonal*, baik pada struktur rangka maupun struktur tabung. Gaya lateral dipikul oleh elemen vertikal eksterior (dari rangka) dan elemen

diagonal eksterior (dari rangka batang), dimana kolom berlaku sebagai pemikul gaya vertikal.

– **Struktur Komposit**

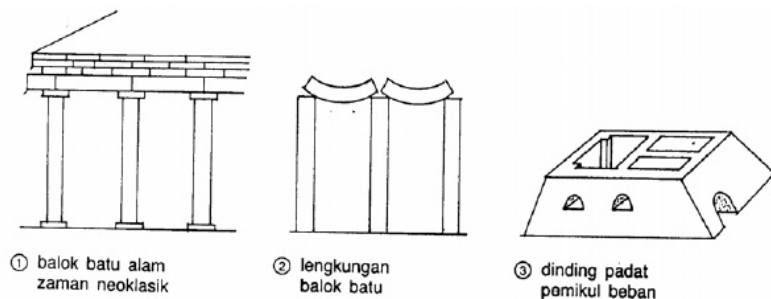
Beton bertulang merupakan struktur komposit dimana kulit beton (concrete) melingkupi besi beton terhadap faktor kerusakan dari luar, seperti korosi dan membantu terhadap tekuk. Atau material beton diberi penulangan lain yang lebih sederhana seperti anyaman kawat baja ataupun bambu.

Beton komposit lain yang lebih modern adalah dengan membungkus baja konstruksi dengan beton (concrete) yang berfungsi sebagai flens suatu balok T yang memikul tegangan-tegangan tekan.

### **71. Sruktur Dinding Pemikul (Bearing Wall)**

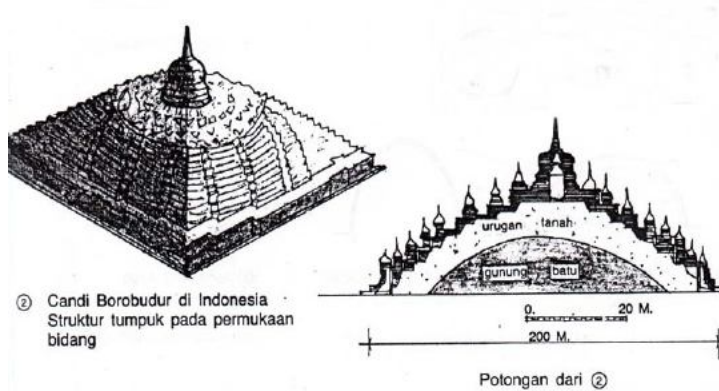
Dinding pasangan batu alam atau bata buatan dapat berfungsi sebagai dinding pemikul beban, khususnya beban vertical bangunan. Struktur massa kecuali sebagai pemikul, juga berfungsi sebagai penutup ruang dan pelindung terhadap iklim yang sempurna. Tetapi karena dibutuhkan bahan yang banyak dan upah pemasangan yang mahal, maka menjadi kurang ekonomis. Juga tidak begitu menguntungkan dengan adanya pembatasan struktural. Biasanya terbatas bentangan terbuka sampai kira-kira 8 meter, dan juga ketinggian dinding yang tergantung dari tebalnya.

Dinding padat (atau solid) yang tebal adalah baik sekali sebagai penerus gaya-gaya didalamnya. Begitu pula ketahanan terhadap perubahan temperatur dan panas api. Mengenai isolasi terhadap suara masih kurang memenuhi syarat akibat dari efek transmisi massa.



Gambar 1. Sistim Struktur Bearing Wall

Aplikasi sistim struktur dinding pemikul pada bangunan Candi Borobudur yang dibangun dari batu alam atau bata buatan yang hanya dapat menahan gaya tekan tegak atau gaya vertical.



Gambar 1. Candi Borobudur



Gambar 1. Piramida

Sedangkan gaya-gaya yang bekerja secara diagonal (miring) dan mendatar (horisontal) dapat didukung melalui cara konstruksi lengkung, konsol atau kubah yang ditunjang oleh tiang-tiang berat atau dinding-dinding tebal, yang diteruskan ke pondasi sebagai gaya-gaya vertikal.



Gambar 1. Aplikasi lengkung Struktur Dinding Pemikul



Gambar 1. Bentang pendek – Kolom rapat

## 7.2. Struktur Dinding Geser (Shear Wall)

Pada bangunan tinggi tahan gempa umumnya gaya-gaya pada kolom cukup besar untuk menahan beban gempa yang terjadi

sehingga umumnya perlu menggunakan elemen-elemen struktur kaku berupa dinding geser untuk menahan kombinasi gaya geser, momen, dan gaya aksial yang timbul akibat beban gempa. Dengan adanya dinding geser yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut. Kolom-kolom dianggap tidak ikut mendukung gaya horizontal, sehingga hanya didesain untuk menahan gaya normal (gaya vertikal) saja. Secara struktural dinding geser dapat dianggap sebagai balok kantilever vertikal yang terjepit bagian bawahnya pada pondasi atau basement.

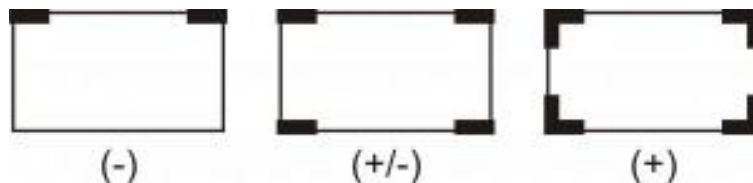
Dinding geser berperilaku sebagai balok lentur kantilever. Oleh karena itu dinding geser atau shear wall selain menahan geser (shear force) juga menahan lentur. Panjang horizontal dinding geser biasanya 3-6 meter, dengan ketebalan kurang lebih 30 cm. Beberapa dinding geser dihubungkan oleh plat lantai beton (sebagai diafragma) membentuk suatu sistem struktur 3 dimensi. Dinding geser pada umumnya bersifat kaku, sehingga deformasi (lendutan) horizontal menjadi kecil. Kerusakan pada elemen non struktural (dinding pembagi ruang, elemen fasad, langit-langit) baru terjadi pada gempa yang relatif kuat.

Kerjasama antara sistem rangka penahan momen dan dinding geser merupakan suatu keadaan khusus, dimana dua struktur yang berbeda sifatnya tersebut digabungkan.

Dari gabungan keduanya diperoleh suatu struktur yang lebih kuat dan ekonomis. Kerjasama ini dapat dibedakan menjadi beberapa macam sistem struktur yang tercantum dalam SNI 03-1726-2002, antara lain sebagai berikut :

1. Sistem dinding penumpu yaitu sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing.

2. Sistem rangka gedung yaitu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing.
3. Sistem rangka pemikul momen yaitu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.
4. Sistem ganda terdiri dari :
  - rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi
  - pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurangnya 25% dari seluruh beban lateral
  - kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi /sistem ganda.
5. Sistem struktur bangunan gedung kolom kantilever: (Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral)
6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka.
7. Subsistem tunggal yaitu Subsistem struktur bidang yang membentuk struktur bangunan gedung secara keseluruhan.



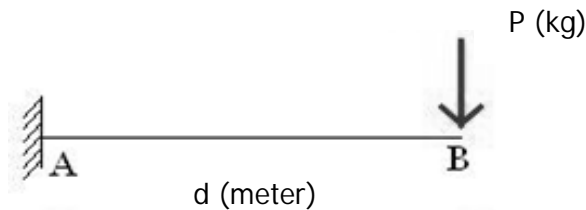
Gambar 1. Sistem Struktur Shear Wall



Sistim shear wall merupakan elemen struktural berfungsi sebagai penahan gaya-gaya lateral bangunan, dimana gaya-gaya lateral yang bekerja merupakan gaya-gaya horizontal yang bekerja pada diafragma dinding geser.

Perletakan dinding geser pada massa bangunan, baik massa bangunan yang berbentuk lingkaran, segi-tiga, kotak atau persegi, adalah untuk mengatasi lentur massa bangunan dengan perletakan sesuai titik berat bangunan. Sehingga kekakuan massa bangunan dapat mengatasi lentur akibat beban lateral yang bekerja.

Struktur kantilever lebih banyak dikenal untuk bangunan industri, seperti pabrik, gudang pelabuhan, atau menara pemancar. Namun sebenarnya, material pabrikan tersebut cocok pula diterapkan pada bangunan tinggi. Struktur Cantilever yaitu suatu struktur balok yang hanya ditumpu oleh satu tumpuan jepit. Tumpuan jepit adalah tumpuan yang dapat menahan gaya vertikal, horizontal dan momen (rotasi).



Gambar 1. Prilaku Beban pada Sistim Cantilever

Struktur Cantilever merupakan model struktur yang dikatakan sebagai struktur statis tertentu, karena perletakan jepit mampu menahan gaya pada arah sumbu x, gaya pada arah sumbu y, dan gaya momen memutar sumbu z. Jadi, kantilever memiliki 3 tahanan, sehingga struktur kantilever merupakan struktur statis tertentu.

Pertimbangan beban pada ujung portal dapat dijelaskan dengan perhitungan dasar sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= R_{yA} - 100kg = 0 \rightarrow R_{yA} = 100kg \\ \sum M_{di titik A} &= M_A - 3m(100kg) = 0 \rightarrow M_A = 300kg.m\end{aligned}$$

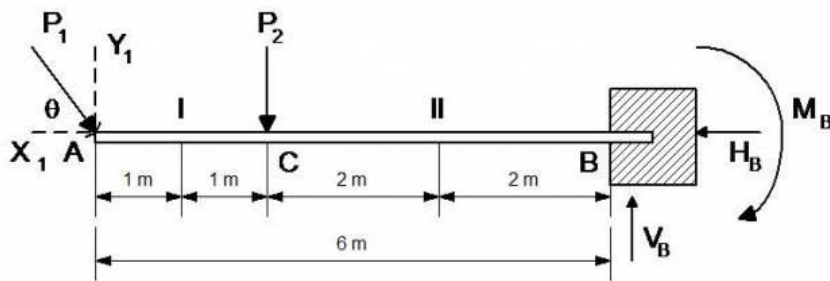
Disini artinya titik A memiliki reaksi gaya vertikal sebesar P kg dan memiliki reaksi momen sebesar 300 kg/m (berlawanan arah jarum jam).

### Gaya pada Cantilever

Gaya Dalam (P) pada Kantilever dengan beban terpusat, misal sebuah kantilever mendapat beban  $P_1 = 10$  ton dengan  $\text{tg } q = 4/3$  pada titik A, dan  $P_2 = 12$  ton pada titik C, seperti gambar dibawah. Untuk menentukan besarnya gaya normal, gaya lintang dan momen lentur dititik I dan II.

Cara mencari keseimbangan gaya luar, dimana  $P_1$  diuraikan menjadi  $X_1 = P \cos q = 10 \times 3/5 = 6$  ton dan  $Y_1 = P \sin q = 10 \times 4/5 = 8$  ton, sehingga didapat reaksi :

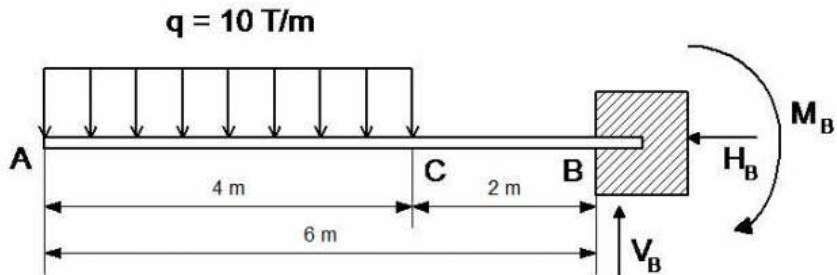
$$H_B = 6 \text{ ton}, V_B = 20 \text{ ton}, \text{ dan } M_B = 96 \text{ ton/m}.$$



Gambar 1. Kantilever dengan beban miring  $P_1$  dan  $P_2$

### Gaya Dalam pada Kantilever dengan Beban Terbagi Merata

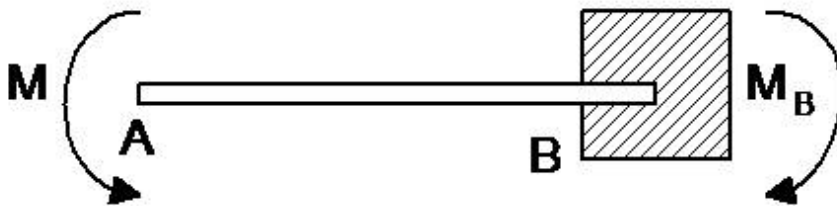
Bila beban merupakan terbagi rata, perlu diperhatikan bahwa gaya lintang dan momen lentur pada batang akan tergantung dari jarak beban terhadap titik tumpuan.



Gambar 1. Kantilever dengan beban terbagi merata

### Gaya Dalam pada Kantilever dengan Beban Momen

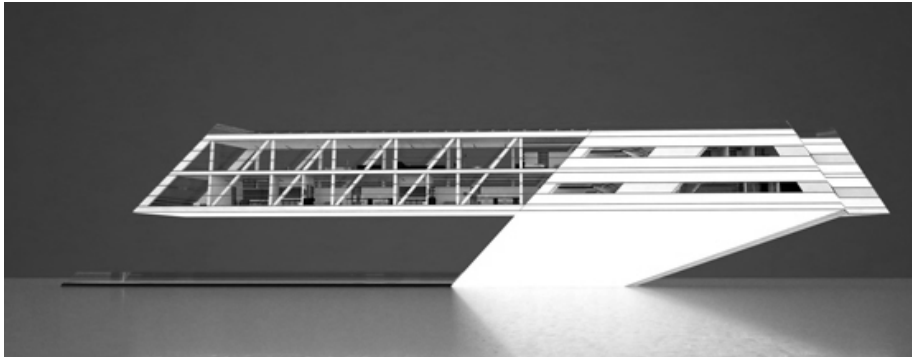
Apabila beban merupakan momen, seperti gambar dibawah ini, maka :



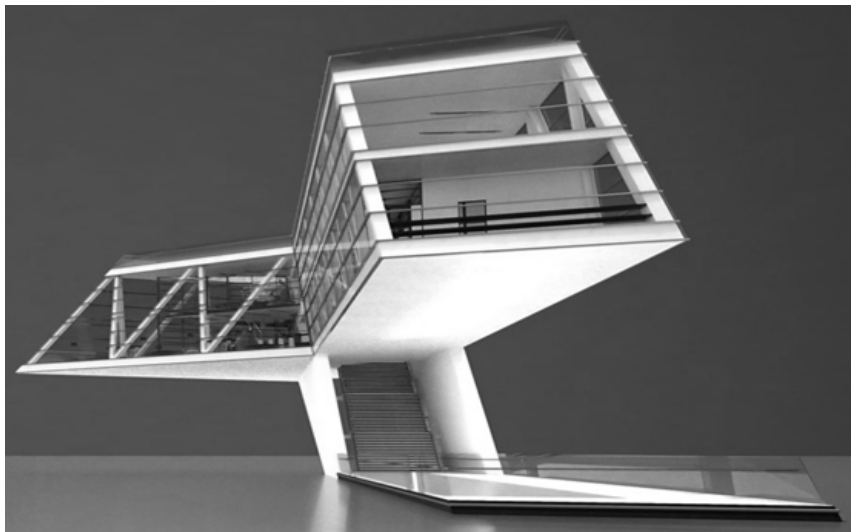
Gambar 1. Kantilever dengan beban momen

Maka gaya dalam yang ada hanya momen lentur bernilai negatif (batang cekung ke bawah).

Aplikasi sistim kantilever pada bangunan masih merupakan kendala karena factor sulit dan mahalnya penerapan sistim ini. Padahal sistim ini akan memberikan tampilan arsitektur yang spesifik dan menantang untuk dikembangkan.



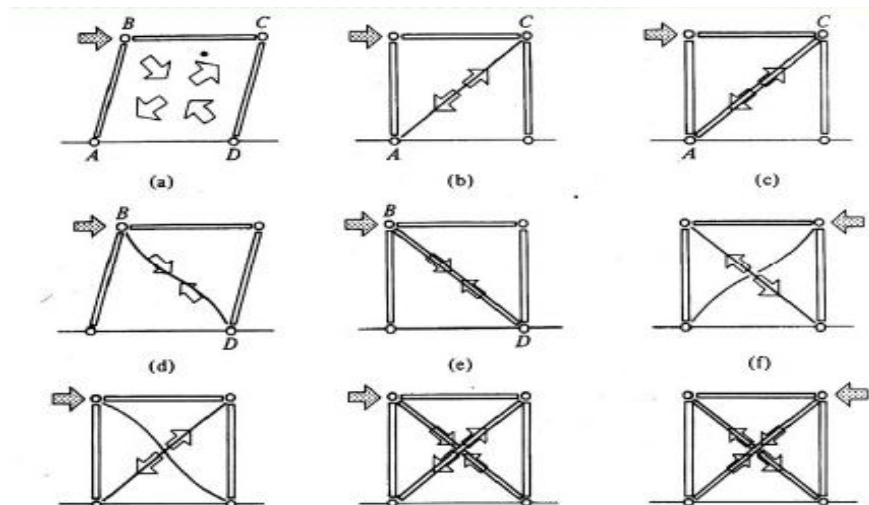
Gambar 1. Aplikasi Cantilever



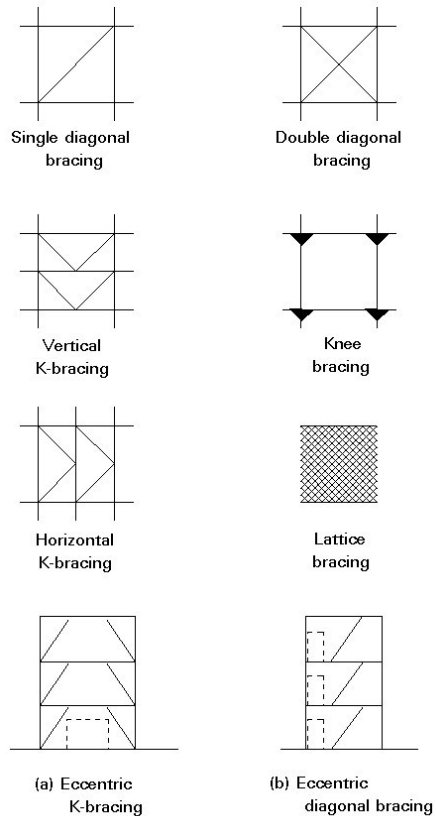
Gambar 1. Cantilever pada 2 sisi Bangunan

## BAB IX. STRUKTUR BRACING ( ELEMEN DIAGONAL )

Untuk menjaga kestabilan struktur, karena bekerjanya gaya dua arah dilakukan dengan merancang sistim diagonal yang berfungsi untuk memikul gaya tekan. Apabila beban horizontal berbalik arah menyebabkan keruntuhan struktur, maka diperlukan kabel menyilang lainnya atau dengan satu elemen diagonal yang mampu memikul gaya tarik dan gaya tekan sekaligus untuk menjamin kestabilan struktur akibat beban yang berbalik arah.



Gambar 1. Prilaku Tarik pada Elemen Diagonal



Gambar 1. Sistim Bracing

Elemen diagonal memikul tarik dan tekan bergantung orientasinya, kabel bracing (elemen diagonal) dapat menjamin kestabilan struktur yang bekerja dua arah dengan pemberian sistim kabel menyilang. Juga satu elemen kaku dapat digunakan untuk menstabilkan struktur terhadap ke-dua arah beban.

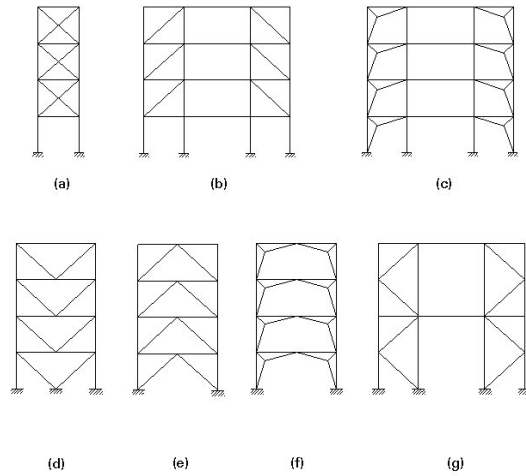


Figure 23 Different types of concentric bracing

Gambar 1. Concentric Bracing

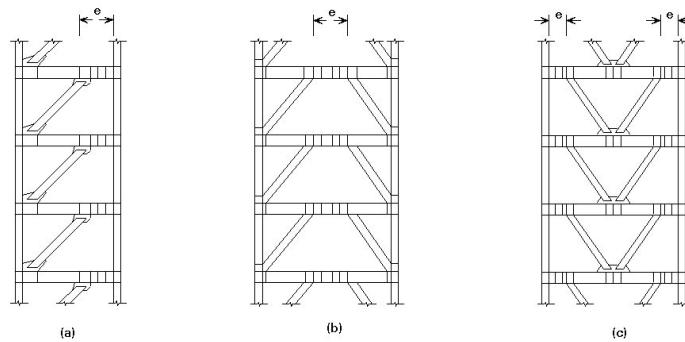


Figure 25 Different types of eccentric bracing

Gambar 1. Eccentric Bracing



Perkembangan mutakhir dalam rancangan struktur tabung, dikembangkan oleh Fazlur Khan. Seperti bangunan Hancock Building, Sears Building, Standard Oil Building. Sistem ini lebih efisien karena penggunaan bahan bangunan per-m<sup>2</sup> hampir sebanding dengan dengan jumlah yang digunakan untuk bangunan rangka yang besarnya separuh dari bangunan diatas.

Dalam sistem ini, tabung dianggap fasade struktur bertindak terhadap beban lateral. Dinding eksterior dapat berfungsi sebagai penahan beban angin sehingga pengaku diagonal interior dapat ditiadakan.

Dinding tabung terbuat dari kolom berjejer yang berdekatan di sekeliling bangunan yang diikat oleh balok pengikat. Sehingga kekakuan dinding fasade ini sedemikian tinggi dan tabung eksterior ini dapat memikul semua beban lateral.

Pada dasarnya struktur tabung terbagi menjadi 2 besar yaitu :

- Tabung Kosong
- Tabung dengan pengaku interior

Dan sistim tabung kosong terbagi dalam :

1. Tabung rangka (frame tube)
2. Tabung truss (trussed tube), dalam sistem ini terbagi menjadi Tabung rangka kolom diagonal dan tabung rangka lattice.

Sedangkan sistim Tabung dengan cara pengaku interior terbagi dalam :

1. Tabung dengan dinding geser
2. Tabung dalam tabung (tube in tube)

3. Tabung yang dimodifikasi (modified tube), dalam sistem ini terbagi dalam tabung rangka dengan rangka kaku dan tabung dalam semi tabung
4. Tabung modular (modular tube)

Struktur tabung mempunyai karakteristik, kolom eksterior mempunyai jarak berdekatan, balok tepi horizontal secara monolith menghubungkan kolom-kolom sehingga membentuk tabung eksterior yang harus dapat memikul semua gaya lateral selain juga gaya gravitasi, sedang kolom interior bisa berfungsi untuk memikul gaya gravitasi sehingga mempunyai penampang lebih kecil daripada penampang kolom eksterior.

Meskipun susunan rangka terluar dapat memikul beban gravitasi dan berperilaku seperti rangka pada arah horizontal, fungsi utamanya adalah untuk memikul gaya-gaya yang diakibatkan oleh momen guling dari beban lateral, dan untuk menambah kekakuan tabung dapat diperbesar dengan penambahan bracing melintang pada muka-muka terluar struktur.

Sistim struktur majemuk yang merupakan gabungan dari beberapa struktur, seperti antara tabung inti (core) dan tabung rangka prismatis (tube-and-tube) seluruh penampang gedung dengan momen inersia dan modulus penampang yang besar menahan gaya vertikal dan momen tumbang akibat gempa dan angin, dinding tirai dapat dipasang diantara kolom dan balok tabung rangka (exposed structure) atau ditempel langsung pada kerangka luar (concealed structure) dan gedung tampak sebagai satu massa.

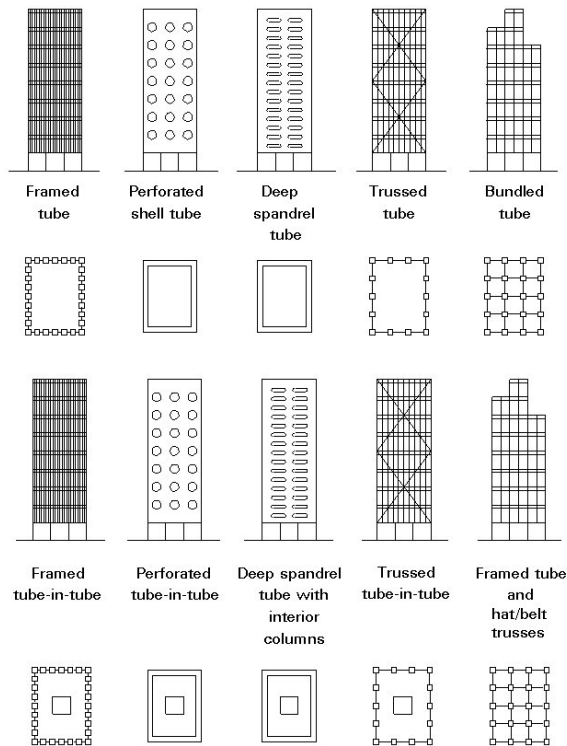


Figure 12 Tube systems

Gambar 1. Variasi Tata Letak Sistim Tabung

Bangunan gedung dengan struktur tabung rangka prismatis gabungan (bundled framed tube) beton bertulang, dimana dinding eksterior dipasang diluar struktur sehingga pemeliharaan eksterior lebih mudah. Disini gedung diperlakukan sebagai patung yang terdiri dari massa-massa yang berlainan tingginya sehingga memberikan identitas yang kuat bagi gedung yang ditimbulkan oleh bentuk keseluruhan yang diekspresikan sistim strukturnya.

## PUSTAKA

- Angus McDonald, 2002, *Struktur dan Arsitektur*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga.
- Ambrose, James and Vergun, (1985), Dimitry, Seismic Design of Buildings, John Wiley & Sons, New York.
- Arnold, Christopher, (1982), *Building Configuration and Seismic Design*, John Wiley & Sons, New York.
- Engel, Henrich, 1967, *Structure Systems*, Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Fischer, Robert E., (1980), *Engineering for Architecture*, An Architectural Record Book, McGraw-Hill Book Co, USA.
- Jimmi S. Juwana, 2005, *Panduan Sistim Bangunan Tinggi*, untuk Arsitek dan Praktisi Bangunan, Penerbit Erlangga.
- Lin, T. Y, 1981. *Structural Concepts And Systems For Architect And Engineers*. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Salvadori, (1963), *Structure in Architecture*, Prentice Hall Inc., Engelwood Clifff, New York, USA.
- Salvadori, Mario, 1980. *Why Building Stand Up*. New York: McGraw Hill.
- Salvadori, Mario, dan Matthys Levy. 1986, *Disain Struktur dalam Arsitektur*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga.
- Sandaker, Bjorn N. [and] Eggen, Arne P. *The Structural Basis Of Architecture*. New York : StevenK, Whitney Library of Design
- Schodek, Daniel L., (1980), *Structure*, Prentice Hall Inc., Engelwood Clifff, New York, USA.
- Schueller, Wolfgang, 1977, *High Rise Building Structures*, a Wiley Interscience Pub. John Wiley & Sons.
- Schueller, W. 1990. *The Vertical Building Structures*. a Wiley Interscience Pub. John Wiley & Sons.

Snyder, James C., & Anthony J. Catanese, (1977), Pengantar  
Arsitektur, Penerbit Erlangga.

Snyder, James C., & Anthony J. Catanese, (1977), *Pengantar  
Arsitektur*, Penerbit Erlangga.

SNI-03-2847-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk  
Bangunan Gedung

Zuhri, Syaifuddin, 2010, Dasar-Dasar Tektonik : Arsitektur dan  
Struktur, Edisi Pertama, Penerbit Yayasan Humaniora.